

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»  
УДК 621.744.55

До захисту допущено  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ М. М. Ямшинський  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2018 р.

**Магістерська дисертація**

за спеціальністю – 136 – Металургія  
(код та назва спеціальності)

на тему: «Аналіз та методи виправлення браку ювелірних виливків»

Виконав студент 6-го курсу, групи ФЛ-61м

Булига Дмитро Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник

доцент, к.т.н., Кочешков А. С.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант  
з організаційно-  
економічної  
частини

к.е.н., ст.викл. Нараєвський С. В.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант  
з нормоконтролю

к.т.н., доц., Федоров Г. Є.

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент

д.т.н., проф. Михаленков К. В.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 р.

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Спеціальність 136 – Металургія

Спеціалізація Ливарне виробництво і комп'ютеризація процесів лиття

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М. М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“    ”    \_\_\_\_\_ 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Булизі Дмитру Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Аналіз та методи виправлення браку ювелірних виливків»

науковий керівник Кочешков А. С., к. т. н., доцент

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «22» березня 2018 року № 994-с

2. Строк подання студентом дисертації 15 травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження: процеси виправлення дефектів ювелірних виливків

4. Предмет дослідження: методи виправлення браку ювелірних виливків

5. Перелік питань, які потрібно розробити: 5.1. Розробити методику досліджень. 5.2. Провести дослідження для сталі, сплавів срібла, золота, титану та латуні. 5.3. Розробити організаційно-економічну частину роботи. 5.4. Розробити бізнес-проект. 5.5. Сформулювати рекомендації щодо найкращих режимів роботи з окремими сплавами.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: вступні дані до роботи (2 слайди); обладнання для проведення експериментів (4 слайди); виправні види

дефектів виливків (1 слайд); графічні залежності (5 слайдів); висновки і рекомендації (1 слайд); бізнес-модель (1 слайд).

7. Перелік публікацій: 7.1. Теза доповіді на міжнародних науково-технічних конференціях. 7.2 Стаття: Аналіз браку виливків за моделями, що витоплюються / Кочешков А. С., Булига Д. С. /Нові матеріали і технології в машинобудуванні. – Київ, 2018

#### 8. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно – економічна частина	Нараєвський С. В. старший викладач		
Консультант з нормоконтролю	Федоров Г.Є., доцент		

9. Дата видачі завдання 5 вересня 2016 року

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Науково-дослідницька робота	05.09.16...05.02.18р.	
2	Аналіз літератури за темою	до 05.02.18 р.	
3	Постановка мети і задач дослідження	до 05.02.18 р.	
4	Переддипломна науково-дослідна практика	05.02...11.03.18 р.	
5	Визначення методики проведення досліджень	05.02...12.02.18 р.	
6	Складання плану проведення досліджень	12.02...14.02.18 р.	
7	Вивчення технологічних факторів	14.02...11.03.18 р.	
8	Дослідження впливу властивостей сплавів	12.03...19.03.18 р.	
9	Проведення попередніх експериментів	19.03...22.03.18 р.	
10	Оптимізація технологічних режимів	22.03...26.03.18 р.	
11	Вивчення впливу технологічних факторів	26.03...01.04.18 р.	
12	Проведення експериментів	02.04...23.04.18 р.	
13	Оброблення результатів	23.04...15.05.18 р.	
14	Оформлення презентації	14.05...20.05.18 р.	
15	Рецензування дисертації	21.05.18 р.	
16	Захист дисертації	22.05.18 р.	

Студент \_\_\_\_\_ Булига Д. С.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник \_\_\_\_\_ Кочешков А. С.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Магістерська дисертація:** 96 с., 25 рис., 11 табл., 31 посилання.

**Об'єкт дослідження** – дефекти при литті ювелірних виробів.

**Мета роботи** – вдосконалення методів виправлення браку при литті ювелірних виробів.

**Предмет дослідження.** Методи виправлення браку ювелірних виливків.

**Методи дослідження** – емпіричні методи, графічні методи.

**Результати дослідження** – визначено оптимальні режими роботи лазера при роботі з різними сплавами.

**Значущість роботи** – лазерні технології знайшли широке застосування майже у всіх галузях промисловості, тому їх дослідження веде до покращення та розширення можливостей лазера.

**Галузі застосування** – металургія, медицина, космічна техніка, електроніка, літакобудування, ювелірне мистецтво.

**Прогнозовані припущення** – розроблені режими роботи можуть використовуватися у реальному виробництві, забезпечуючи максимальну ефективність при виправленні браку виливків, а також при обробленні металів лазером.

ВИЛИВОК, ЛАЗЕР, МОДЕЛЬ, МОДЕЛЬНА КОМПОЗИЦІЯ, ЗВ'ЯЗУВАЛЬНИЙ КОМПОНЕНТ, КВАРЦЕВИЙ ПІСОК, ГІПС, ПРЕС-ФОРМА, СПЛАВ, ДЕФЕКТ, ФОРМОМАСА, ЗВАРЮВАННЯ, МАРКУВАННЯ.

## ABSTRACT

**Master dissertation:** 96 pages, 25 figures, 11 tables, 31 references.

**Object of research** - defects in the decay of jewelry.

**Objective** – it`s improving the methods of correcting defects when manufacturing jewelry.

**Subject of investigation** - Methods of correcting the lack of jewelry castings.

**Methods of research** -empirical methods, graphic methods.

**Research results** - determined the optimal operating modes of the laser when working with different alloys.

**Significance of work** - laser technologies have found wide application in almost all industries, therefore their research leads to improvement and expansion of possibilities of a laser.

**Branch of production** - metallurgy, medicine, space technology, electronics, aircraft engineering, jewelry.

**Predictable assumptions** - the developed modes of operation can be used in real production, providing maximum efficiency in correcting the lack of castings, as well as in the processing of metals by laser.

CASTING, LASER, MODEL, MODEL COMPOSITION, RELATIVE COMPONENT, QUARTERS, GIPS, PRESS-FORM, ALLOYS, DEFECTS, FORMAS, WELDING, MARKING.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД... ..	10
1.1 Аналіз методу лиття за моделями, що витоплюються... ..	10
1.2 Виготовлення воскової моделі.....	12
1.2.1 Вирізання або вирощування моделі. ....	13
1.2.2 Інжекція в гумову прес-форму.....	15
1.2.3 Склад модельних композицій .....	16
1.2.4 Вимоги до модельних композицій .....	20
1.3 Виготовлення ливарних форм.....	23
1.3.1 Формувальні матеріали.....	25
1.3.2 Зв'язувальні компоненти .....	32
1.4 Аналіз видів браку в ювелірному виробництві .....	43
1.4.1 Можливі види браку .....	46
1.4.1.1 Брак воскових моделей .....	46
1.4.1.2 Брак з вини ливарної форми.....	48
1.4.1.3 Брак виливків... ..	49
1.5 Методи виправлення браку .....	51
1.5.1 Лазерні технології в ювелірній промисловості .....	51
1.5.2 Види лазерів.....	53
1.5.2.1 Імпульсний лазерний маркувальник SharpMark Fiber.....	55
1.5.3 Лазерне зварювання... ..	59
1.5.3.1 Лазерне зварювання як метод боротьби з дефектами виробів .....	62
1.6 Висновки та постановка завдань досліджень .....	66
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ... ..	67
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА .....	69
3.1 Дослідження взаємодії лазерного випромінювання з металами... ..	69
3.1.1 Рекомендації для лазерного зварювання... ..	75
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....	76
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	76

4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження.....	77
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	77
4.2.2 Єдиний соціальний внесок .....	79
4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень.....	79
4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання .....	80
4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій .....	80
4.2.6 Витрати на службові відрядження.....	81
4.2.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат.....	81
4.2.8 Накладні витрати.....	81
4.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми .....	82
4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності.....	83
4.4 Висновки .....	85
5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ .....	86
5.1 Назва проекту .....	86
5.2 Короткий опис проекту.....	86
5.3 Бізнес-модель.....	86
5.3.1 Цінний продукт.....	86
5.3.2 Сегмент споживачів .....	86
5.3.3 Канали збуту .....	86
5.3.4 Взаємодія з споживачами .....	87
5.3.5 Прибуток (монетизація).....	87
5.3.6 Ключові види діяльності .....	88
5.3.7 Ключові ресурси.....	88
5.3.8 Ключові партнери.....	88
5.3.9 Витрати.....	89
5.4 Споживчі властивості товару.....	89
5.5 Дослідження ринку .....	89
5.6 Дослідження конкурентного оточення .....	89
5.7 Маркетингова стратегія просування .....	90

5.8 Елементи фінансового плану .....	90
5.8.1 Опис бізнес-проекту.....	90
5.8.2 Опис товару.....	90
5.8.3 Маркетинг і продаж .....	91
5.8.4 Фінансовий план.....	91
5.8.5 Резюме .....	91
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	94
ДОДАТКИ.....	97



## ВСТУП

Лиття за моделями, що витоплюються – один з найбільш точних способів виготовлення литих деталей. Цей спосіб широко використовується у виробництві як простих, так і складних та тонкостінних деталей, художніх та ювелірних виробів завдяки високій якості поверхні та мінімізації припусків на механічне оброблення. В деяких випадках це єдиний економічно доцільний спосіб виготовлення окремих виливків, в тому числі й на замовлення, адже спосіб передбачає виготовлення деталі будь-якої конфігурації.

Як і будь-який інший спосіб, лиття за моделями, що витоплюють має ряд переваг і недоліків і також не виключає можливість виникнення браку, а головною метою модернізації виробництва є зменшення кількості браку і, відповідно, підвищення продуктивності. Саме тому проводяться дослідження задля знаходження визначаючих особливостей технології та раціональності використання тих або інших матеріалів. Емпіричний метод досліджень – найбільш раціональний при виконанні експериментів.

Існують не виправні, виправні та рентабельні види браку, тобто такі, що не підлягають виправленню; такі, що можуть бути виправлені, але на це буде витрачено більше ресурсів, ніж на виготовлення нового виробу; такі, що можуть бути виправлені за невелику кількість ресурсів, тобто – рентабельні.

На сьогодні виправлення браку ювелірних виливків досягло високої швидкості, якості та доцільності завдяки швидкому розвитку лазерних технологій, а саме – лазерної зварки.

# 1 ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

## 1.1 Аналіз методу лиття за моделями, що витоплюються

Литтям за моделями, що витоплюються (далі – ЛВМ) – це спосіб виготовлення виливків методом заливання металу в оболонкові форми, що виготовлені зі спеціальних вогнетривких сумішей із використанням моделей, що витоплюються, випалюються або розчиняються після формовки.

Застосування способу ЛВМ забезпечує можливість виготовлення з будь-яких ливарних сплавів фасоних виливків, у тому числі складних по конфігурації і тонкостінних з шорсткістю поверхні від  $Rz = 20$  мкм до  $Ra = 1,25$  мкм і підвищеною точністю. За допомогою ЛВМ одержують виливки, максимально наближені формою і розмірам до готової деталі, а у ряді випадків не потребують обробки різанням.

В результаті значно знижуються трудомісткість і вартість виготовлення виробів, скорочуються витрати металу і інструменту, потреба у виробничих площах, верстатному устаткуванні і пристосуваннях, зменшуються енергоємність виробництва, а також потреба в робітниках-верстатниках високої кваліфікації.

Застосування ЛВМ дозволяє проектувати складні тонкостінні деталі (з товщиною стінки 1 мм і менш), створювати конструкції, об'єднувати деталі в суцільнолиті вузли, таким чином зменшуючи масу і габаритні розміри виливків (наприклад, охолоджувані лопатки ГТД з складними лабіринтовими порожнинами газового тракту).

Застосування високовогнетривких і термостійких матеріалів для виготовлення оболонок форм, придатних для нагріву до температури, що перевищує температуру плавлення ливарного сплаву, і швидкого охолодження без деформації і руйнування, дозволяє ефективно використовувати методи направленої кристалізації, одержувати високогерметичні виливки, формувати транскристалічну структуру і отримувати монокристалічні вироби.

ЛВМ використовують в різних галузях машинобудування і приладобудування, особливо в таких, як виробництво літальних апаратів, автомобілів, сільськогосподарських машин, електронних приладів, гідромашин, різних видів військової техніки.

Недоліками лиття за моделями, що витоплюються, є: велика тривалість та складність процесу, висока вартість зв'язувальних компонентів порівняно з іншими методами [1].

Виділяють такі основні етапи виготовлення виливків при ЛВМ:

- 1) Виготовлення воскової моделі;
- 2) Виготовлення ливарної форми;
- 3) Плавка та заливка металу;
- 4) Вибивання форм.

Нижче наведено огляд усіх цих етапів.

## **1.2 Виготовлення воскової моделі**

Виготовлення воскової моделі – чи не головний етап технології, адже на цьому етапі проектується модель за допомогою сучасних 3D-пакетів з урахуванням усіх допусків та припусків на обробку, а також з урахуванням мінімально можливих площин для проливання металу, з урахуванням зручності обробки готової деталі, а саме – забезпечення відкритості більшості поверхонь, щоб ювелір мав можливість скрізь відшліфувати та відполірувати метал після литва, а також урахувати всі можливі усадки на всіх етапах (усадка гумової прес-форми; усадка воску в прес-формі; усадка металу). Також на етапі моделювання береться до уваги можливість вилучення майстер-моделі з гумової прес-форми, якщо така буде виготовлятися, а також мінімізуються максимально всі можливі допрацювання виробу, адже якщо робиться майстер-модель, то вона пускається на масове виробництво, а отже – це виробництво треба забезпечити зручністю, швидкістю та якістю. Дизайнер ювелірних виробів повинен мати уявлення про абсолютно всі технологічні етапи виготовлення виробу від вирізання воскової моделі (або ж вирощування) до виставлення готового виробу на вітрину магазину. Нижче наведено основні методи виготовлення воскових моделей [2].

### 1.2.1 Вирізання або вирощування моделі

До кінця минулого століття, коли ще не було фрезерних станків та 3D-принтерів, що дуже точно та швидко виготовляють моделі, всі моделі виготовлялися вручну. Навіть якщо виготовлялась майстер-модель для подальшого виготовлення прес-форми, або ж відкритої форми (для більш простих виробів), вона виготовлялась протягом десятків годин. Звісно, робота модельєрів дуже цінувалася, адже вони були водночас і технологами, і художниками, і красномовним консультантом при роботі з клієнтами, і майстрами роботи з ювелірним інструментом, а також дуже зосередженими та уважними, адже одним зайвим рухом можна спричинити непоправну шкоду моделі, після чого її доводиться починати знову [2]. На сьогодні технологічний розвиток упростив роботу ювелірам, але й позбавив роботи майстрів роботи по воску, хоча вони й зараз цінуються, бо стаються випадки, коли треба доробити модель після станка, а тим паче – доробити в металі. Але більшість роботи з виготовлення воскових моделей сьогодні на себе беруть 3D-дизайнери та оператори станків з числовим програмним управлінням (ЧПУ), або оператори 3D-принтерів. Вирізання моделей на станках з ЧПУ показано на рис.1.1.

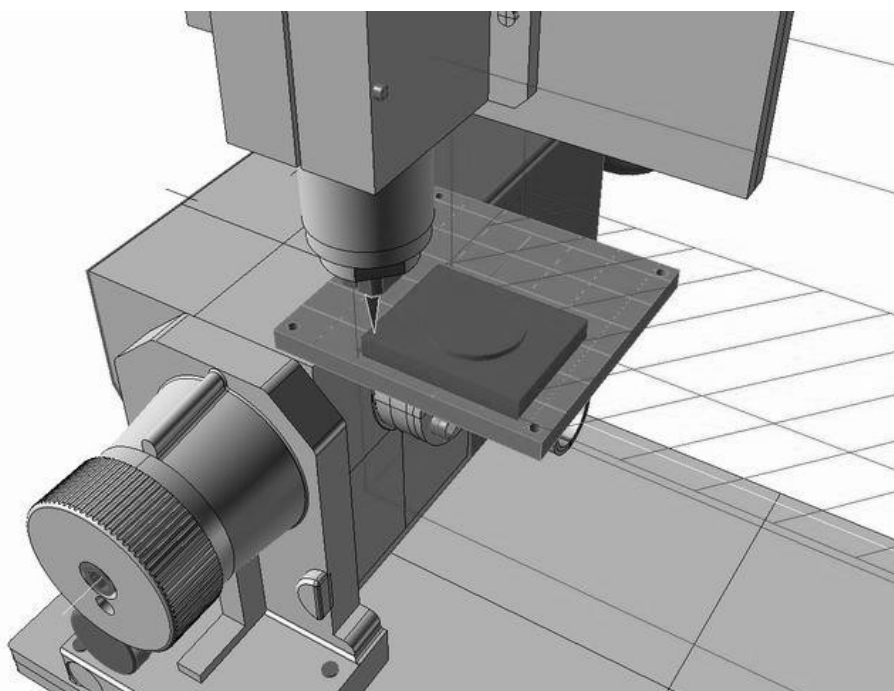


Рис. 1.1 – Фрезерування воскових моделей

За допомогою 3D-принтерів можна виготовити абсолютно будь-яку модель, але якість поверхні воскових моделей після них не на високому рівні: завжди

матова поверхня та видно «шари», наче сходинок, що вирощує принтер. З іншого боку станки з ЧПУ досягають ідеально гладкої та полірованої поверхні, але далеко не всі моделі можна виготовити з їх допомогою, залежно від кількості робочих осей станка (3, 4 або ж 5). Але те, що робить принтер за 16 годин з поганою поверхнею, ЧПУ станок робить за 6 годин з ідеальною поверхнею. Отже, і тут 3D-дизайнеру треба враховувати, яким способом буде виготовлятися модель, що веде до використання різних пристроїв для однієї чи іншої технології.

### 1.2.2 Інжектування в гумову прес-форму

Після виготовлення моделі вона йде або одразу на лиття в дорогоцінному металі, або йде на виготовлення майстер-моделі з бронзи, наприклад. Бронза має невисоку ціну, хороші ливарні властивості та простоту обробки, тому її й використовують в даній технології [2].

Коли майстер-модель готова та до неї припаяна ливникова система, з неї знімають «відбиток» в гумовій прес-формі. На цьому етапі проєтується положення та роз'єм форми. Після вулканізації прес-форми майстер з роботи з гумовими прес-формами вирізає певним чином майстер-модель, проєктуючи майбутню роботу з нею, а саме: зручність виймання восковок з прес-форми (рис. 1.2) та забезпечення щільного прилягання двох половинок з мінімальним зміщенням [2].

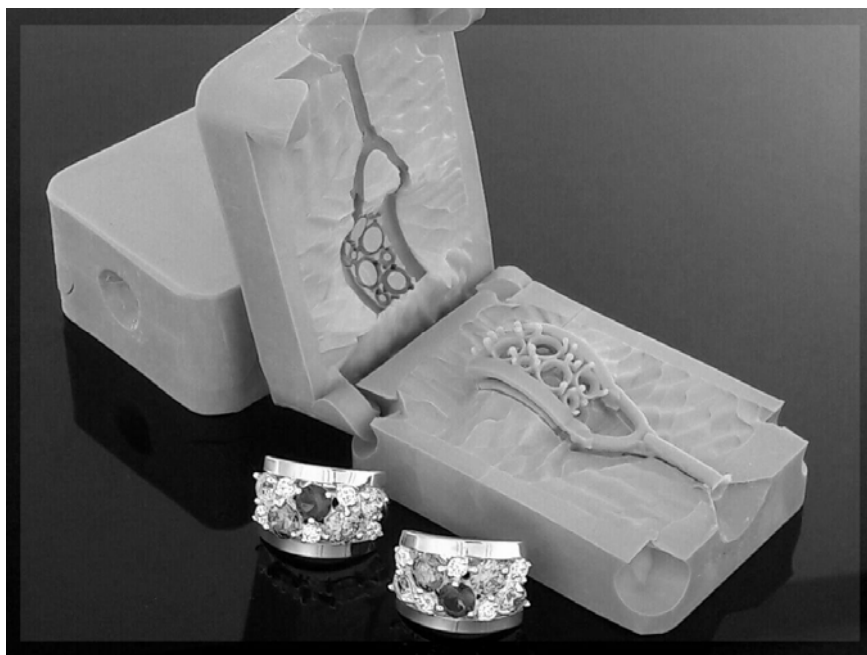


Рис. 1.2 – Гумова прес-форма

Гума має всі необхідні властивості для цієї технології: достатня теплостійкість, щоб витримати температуру розплавленого воску ( $80^{\circ}\text{C}$ ) та неймовірна пружність гуми, що дозволяє виймати досить складні моделі, повертаючи формі попередній стан. Також плюсом гумової прес-форми є очевидна висока швидкість виготовлення моделі та інертність до воску, тобто віск до гуми не прилипає. Поверхня воскових моделей виходить ідентичною до поверхні майстер-моделі [2].

### 1.2.3 Склад модельних композицій

У вітчизняній практиці лиття за витоплюваним моделями найбільш часто використовують церезин, парафін, буровугільний віск; торф'яний віск, стеарин, каніфоль, карбамід, азотні й азотнокислі солі лужних металів. Є досвід використання, у якості добавок поліетилену звичайного й поліетиленових восків, етилцелюлози, триетаноламина, дибутилфталата, полівінілового спирту. Нижче наведені короткі відомості про ці матеріали [3].

Парафін — це суміш насичених твердих вуглеводнів метанового ряду  $C_{25}$ , які одержують головним чином при сублімації парафінових і високопарафінових нафтепродуктів, а також при сухій перегонці бурого вугілля та горючих сланців. Синтетичний парафін виготовляється методом відновлення воднем окису вуглецю. У процесі отримання так званого товарного парафіну відокремлюють легкоплавкі парафіни й масла. Відповідно до ГОСТ 23683-89 парафіни нафтові тверді за ступенем очищення розділяють на високоочищені, неочищені й очищені. В залежності від застосування стандартами передбачено наступні марки парафінів: П-1, П-2 і П-3 — високоочищені, що призначені для харчової промисловості; ГОСТ 2488-79 4-х видів: 65, 70, 75 і 80. Марка церезину вказує на температуру, при якій він скраплюється ( $65-70^{\circ}\text{C}$  для 65-ї марки,  $70-75^{\circ}\text{C}$  для 70-ї марки,  $75-80^{\circ}\text{C}$  для 75-ї та  $80-85^{\circ}\text{C}$  для 80-ї марок). Відповідно до вказаних стандартів для всіх марок встановлені вимоги: відсутність водорозчинних кислот і лугів, а також води; не більше 0,02 % масової частки домішок, не більше 0,02 % масової частки золи; кислотне число - не більше 0,1 мг КІН на 1 г церезину. У церезині має міститися жодних летючих компонентів, його температура кипіння вище  $400^{\circ}\text{C}$ , а температура запалювання  $260^{\circ}\text{C}$ . Церезини різних марок відрізняються за твердістю. Твердість, як і для парафіну (за ГОСТ 23683 - 89, п. 5.7), за глибиною проникнення голки на пинетрометрі ЛП-1 (ГОСТ 1440 - 96), змінюється від 1,6 мм до 3 мм відповідно для марок 80 та 65 (не більше вказаних значень).



Церезин - це синтетичний тугоплавкий. Відповідно до ГОСТ 7658 - 74 його випускають 4-х марок: конденсаторний; 100; 93 і 90. Більш тугоплавкий синтетичний церезин знайшов найбільше застосування в модельних композиціях останнім часом.

Церезин має більш високу в порівнянні з парафіном температуру початку розм'якшення, менш схильний до деформації. Наприклад, консольно закріплені зразки в горизонтальному положенні діаметром 6 мм і довжиною 50 мм, виготовлені з церезину марки 80, при температурі 20-25 °С прогиналися в 20-30 разів менше, ніж парафінові такі ж зразки. Церезин не взаємодіє з гідролізованим розчином етилсиликату. Величина зольності церезину не перевищує 0,03%, а густина - 910-940 кг/м<sup>3</sup>. Як недоліками церезину можна виділити його низькі міцність та твердість, малу пластичність, значну лінійну усадку (до 3,5 %).

Буровугільний віск (монтанит, монтан-віск, гірський віск) — це суміш складних вуглеводнів, яку отримують із бітумінозного бурого вугілля. Спершу розчинником обробляють буре вугілля, потім відганяють перший, у результаті чого буроугольний віск залишається. До його складу входять восковидні, асфальтоподібні та смоляні речовини. У залежності від природи вихідного бурого вугілля, розчинника, що застосовується, а також особливостей процесу екстракції та подальшої обробки воску його властивості можуть змінюватися у значних межах. Кристалічна основа воску забезпечує високі механічні властивості та здатність відтворювати в моделях глянцеvu поверхню прес-форм, а домішки підвищують теплотривкість та міцність. Буровугільний віск добре сплавляється з церезином, парафіном, торф'яним і деякими синтетичними восками, а також не взаємодіє з гідролізованими розчинами утилсиликата. Вітчизняна промисловість за ТУ 39-01-232 - 76 поставляє віск, що одержується з бурого вугілля Південно-Уральського родовища. Групова сполука буровугільного воску, % по масі: 82,5 восків; 8,6 парафинов, 6,8 масел; 2,1 асфальтенів. Зольність буровугільних восків ~0,1 %, температура каплепадения 88—89 °С (ГОСТ 6793—74), число омилення 100 мг КІН/г (ГОСТ 21749—76), кислотне число 32 мг КІН/г (ГОСТ 5985—79).

Стеарин — це суміш твердих жирних кислот. Його основа — стеаринова кислота, в якості домішок якої утримуються переважно олеїнова й пальметинова кислоти. Стеаринова кислота  $\text{CH}_3(\text{CH}_2)\text{COOH}$  — це насичена одноосновна жирна кислота, що являє собою безбарвну кристалічну масу з температурою плавлення  $69,7^\circ\text{C}$ , яка розчинна в органічних розчинниках. Стеарин одержують із тваринних жирів, а також із гідрованих рослинних олій методом розщеплення їх на жирні кислоти та гліцерин із подальшою дистиляцією жирних кислот чи без дистиляції. Для виготовлення моделей використовують зазвичай дистильований стеарин 1-го й 2-го сортів. Стеарин як компонент модельних сполук має істотні недоліки: схильність до взаємодії з гідролізованим розчином етилсилікату, що призводить до утворення дефектів на поверхні виливків; омиленням при виплавлянні в гарячій воді. Крім того, вартість стеарину висока та він дефіцитний, бо отримується із харчових продуктів. Тому сполуки зі стеарином не рекомендуються. Їх заміняють сполуками на основі парафіну із церезином, синтетичними восками, буровугільним воском та іншими компонентами (як приклад, ПЦБКо 70-12-13-5 (Р-3), ИПЛ-2, МВС-19А).

Каніфоль (гарпіус) — це тверда складова частина смолистих речовин хвойних дерев, що містить 80—95 % смоляних кислот (загальна формула каніфолі -  $\text{Z}_{19}\text{H}_{29}\text{COOH}$ ), а решта — це нейтральні речовини. Каніфоль являє собою тендітну склоподібну речовину зі щільністю  $1007\text{—}1085\text{ кг/м}^3$ , що змінює колір у залежності від сполуки та методів обробки від ясно-жовтого (майже безбарвного) до темно-бурого. При нагріванні каніфолі в інтервалі температур  $52\text{—}70^\circ\text{C}$  вона розм'якшується. Нерозчинна у воді, але добре розчиняється в ефірі, ацетоні, спирті, скипидарі, бензолі та жирних маслах. Для модельних сполук зазвичай використовують соснову каніфоль вищого й першого сортів (ГОСТ 19113-84) зольністю не більше 0,04 % з температурою розм'якшення не менше  $66^\circ\text{C}$ . Соснова каніфоль отримується або після відгону з водяною парою летючої частини соснової смоли (живична каніфоль), або безпосередньою екстракцією бензином із соснової смоли (екстракційна

каніфоль). Каніфоль у модельних сполуках застосовують зазвич у в комбінації з парафіном, церезином, полістиролом, поліетиленом або церезином.

Карбамід  $3(\text{NH}_2)_2$  чи повний амід вугільної кислоти (технічна сечовина) — це кристалічний, добре розчинний у воді матеріал білого чи ясно-жовтого кольору (щільністю  $1335 \text{ кг/м}^3$ ). Його одержують нагріванням аміаку та вуглекислого газу до  $150^\circ\text{C}$  при тиску до  $45 \text{ МПа}$ . Карбамід плавиться при температурі  $129\text{--}134^\circ\text{C}$  та в розплавленому стані має високу рідкотекучість, добре заповнює порожнини форм без додаткового тиску. Швидко охолоджуючись у металевій прес-формі, карбамід затверджується, утворюючи міцну й точну (з незначною усадкою) модель із гладкою поверхнею. Важливою технологічною властивістю карбаміду є те, що при нагріванні він не має стадії розм'якшення, тому моделі й стрижні з карбаміду не деформуються при підвищенні температури до  $100^\circ\text{C}$  при заливанні карбамідних стрижнів, що віддаляються розчиненням у воді.

Карбамід (ГОСТ 2081-92) випускають 2-х марок: А — для промисловості й тваринництва, Б — для сільського господарства. Для моделей рекомендують продукт марки А, що поставляється у вигляді кристалів чи гранул білого кольору, які містять, у % по масі: не менше 46,3 азоту, у перерахуванні на суху речовину; не більше 0,6 биурета; 0,01—0,02 вільного аміаку, не більш 0,2 води та не більше 0,005 нерозчинних речовин у воді.

Азотні та азотнокислі солі лужних металів — це нітрати й нітрити калію та натрію. Вони використовуються у деяких водорозчинних модельних сполуках

Нітрат натрію  $\text{NaNO}_3$  (натрієва селітра) — це кристалічна речовина зі щільністю  $2100 \text{ кг/м}^3$ , з температурою плавлення  $308^\circ\text{C}$ . При нагріванні вище цієї температури розкладається спочатку з виділенням нітрату натрію  $\text{NaNO}_2$ , а потім з виділенням азоту й утворенням  $\text{Na}_2\text{O}$ . Натуральна селітра має домішки інших солей ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) та легко розчиняється у воді. Натрієву селітру одержують в основному синтетично, шляхом нейтралізації азотної кислоти.

#### 1.2.4 Вимоги до модельних композицій

До властивостей модельних композицій виноситься ряд вимог, що можуть мати істотні відмінності в залежності від конфігурації, розмірів та призначення виливків, а також необхідної розмірної точності їх і якості поверхні, масштабів і характеру виробництва, прийнятого технологічного варіанту процесу виготовлення оболонок форм, вимог до рівня механізації та економічними показниками виробництва. Вимоги багато визначаються також природою та властивостями модельної композиції. Ряд вимог до композицій групи 3 (наприклад, повна розчинність у воді) не застосовується до композицій інших груп. У всіх випадках треба, щоб їх властивості забезпечували одержання високоякісних моделей зі збереженням технологічності (простоті їх виготовлення, зручності використання, можливість утилізації).

Нижче наведені універсальні вимоги до модельних композицій [5]:

1. Композиція повинна повторювати конфігурацію робочої порожнини прес-форми та її поверхні точно, не прилипаючи до прес-форми. Поверхня моделі має бути чистою та глянцевою.

2. Після затвердіння в прес-формі композиція повинна мати достатню твердість та міцність, щоб моделі не деформувалися й не ушкоджувалися під час усіх технологічних операцій.

3. Усадка композиції при охолодженні та її розширення при нагріванні повинні бути мінімальними та стабільними.

4. Композиція повинна бути нескладною у приготуванні, мати мінімальне число компонентів, бажане недорогих і недефіцитних.

5. Температура плавлення модельної композиції повинна бути в межах 60-100°C. У цьому випадку полегшується виготовлення моделей та видалення їх з порожнини ливарних форм. Водночас температура початку її розм'якшення має бути не нижче 32-35°C, тобто на 10-15°C перевищувати температуру приміщення, у яких виготовляють, зберігають моделі, збирають блоки моделей та наносять на них суспензію.

6. Витоплювана модельна композиція повинна мати гарну рідкотекучість у розплавленому стані, що полегшує виготовлення моделей та виплавлення їх з форм.

7. Модельні композиції, що запрессовуються в пастоподібному (в'язкопластичному) стані, повинні мати в цьому стані високу плинність, що дає можливість отримувати моделі з чітким повторенням контурів порожнини прес-форми та її поверхні при низьких тисках пресування.

8. Час затвердіння модельної композиції в прес-формі повинна бути мінімальною.

9. Щільність композиції повинна бути низькою. Бажано, щоб вона була нижча  $1000 \text{ кг/м}^3$ . Це полегшить роботу з модельними блоками, зменшить власну масу моделей, а також при виплавленні моделей у гарячій воді допомагає відділенню модельної сполуки для повторного використання.

10. Хімічна взаємодія композиції з матеріалом прес-форм, а також зі сполучним розчином і вогнетривкою основою суспензії недопустимі.

11. Модельна композиція має добре змочуватися суспензією.

12. Гарне спаювання модельної композиції досить бажане, тому що це полегшує складання блоків припаюванням і створення складних моделей, виготовлених частинами.

13. Зольність модельної композиції повинна бути мінімальною.

14. Структура композиції повинна бути механічно однорідною.

15. Бажано, щоб модельна композиція була придатною для багаторазового повторного використання, втрати її під час застосування були мінімальними, а технологічні властивості не погіршувалися в роботі та при зберіганні.

16. Модельна композиція в будь-якому стані повинна бути нешкідливим для здоров'я робітників (у твердому, розплавленому та пароподібному виді), як і продукти деструкції, що утворюються при прожарюванні форм. Відходи модельної композиції не повинні забруднювати навколишнє середовище.

Невідповідність властивостей модельних композицій оптимальним властивостям є однією з найважливіших причин великої трудомісткості виготовлення моделей і складання блоків у ряді галузей промисловості, а також

невисокої розмірної точності виливків, значного браку моделей і дефектів оболонок форм, пов'язаних з недоліками модельних сполук. Недоліки застосовуваних модельних композицій — одна із причин значних технологічних втрат під час основних операцій процесу лиття за моделями, що витоплюються. Наочною характеристикою цих втрат служить коефіцієнт використання моделей, що на ряді підприємств не перевищує 0.5. Це вказує на необхідність виготовлення не менш двох моделей для одержання одного придатного виливка [6].

Вказані вище обставини, а також підвищені вимоги до якості виливків, виготовлених методом лиття за моделями, що витоплюються, є причиною робіт, що не припиняються, із вдосконалювання застосовуваних і пошуку нових модельних сполук.

### 1.3 Виготовлення ливарних форм

Технологія виготовлення ливарних форм для процесу лиття ювелірних виробів за моделями, що витоплюються можна розділити на дві основні групи [6]:

1) виготовлення оболонкових форм з багатьма шарами методом нанесення вогнетривких облицювальних (шаруватих) покриттів на поверхню витоплюваних моделей;

2) виготовлення форм-монолітів методом заповнення рідкими облицювально-наповнювальними суспензіями опок зі встановленими у них блоками моделей.

Процес затверднення шарів або монолітів протікає за колоїдно-хімічною схемою з аморфним, змішаним або кристалічним станом в'язких компонентів. Аморфний стан характерний для органічних зв'язувальних матеріалів (ЛСТ, лаків, масел і ін.), змішаний стан характерний для мінерально-органічних зв'язувальних матеріалів (етилсилікату, рідкого скла, алюмінатів і ін.), кристалічний стан – для мінеральних зв'язувальних компонентів (гіпсу та цементу).

Використовувана технологія лиття за витоплюваними моделями у форми, що виготовлені послідовним нанесенням на поверхню модельних блоків декількох шарів вогнетривких покриттів на етилсилікатному чи рідкоскляному зв'язувальних матеріалах, не може бути використана при виробництві ювелірних виливків зі сплавів золота і срібла, бо:

- всі шари вогнетривких покриттів на етилсилікатному або рідкоскляному зв'язувальних матеріалах є проникними для сплавів золота й срібла в рідкому стані, що призводить до неприпустимо високих втрат дорогоцінних металів при литті;

- операції вибивання виливків із вогнетривких форм на етилсилікатному зв'язувальному матеріалі та очищення досить дрібних і складних за конфігурацією виливків із ювелірних сплавів надто трудомісткі, в більшості

випадків можуть бути виконані тільки шляхом травлення у плавиковій кислоті, яка шкідлива для людини;

- вогнетривкі форми на етилсилікатному чи рідкоскляному зв'язувальних матеріалах не дають необхідної відтворюваності рельєфу моделей на виливках із-за поганої змочуваності поверхні воскових моделей вогнетривкими суспензіями на мінерально-органічних зв'язувальних матеріалах. Також через явище відшаровування сирих шарів оболонкових форм під дією власної ваги.

Саме тому формувальні суміші для ювелірного литва повинні мати такі властивості: міцність в сирому стані й після прожарювання, текучість, термостійкість, газопроникність, вогнетривкість, достатню вибивальність, інертність до сплавів, які заливають та ін. Якщо матеріал форми реагує з металом, що заливається, то продукти, що які утворюються в результаті протікання реакцій, викликають хімічний пригар та є причиною дефектів виливків. Якщо форми мають недостатню міцність, то вони будуть розмиватися розплавом, що заливається, що викличе брак виливків за геометрією форми, а дрібні частки форми, що при цьому відокремилися, будуть причиною засорів у виливках. Якщо форми мають підвищену міцність і твердість, то вони важко розбиватимуться, що, в свою чергу, додасть роботи при вибиванні виливків та може привести до утворення на них додаткових поверхневих дефектів [7].

Під час лиття у форми, що мають низьку газопроникність, повітря, що знаходиться у порожнині форми і гази, що виділяються з розплавленого металу при його заливанні, не зможуть вийти через стінки форми та стануть причиною утворення у виливках внутрішньої поруватості, що приведе до зниження якості їх поверхні. В більшості випадків у технології ювелірного лиття використовують готові до застосування формувальні суміші (маси, формомаси, формувальні матеріали), як правило, закордонного виробництва.



### 1.3.1 Формувальні матеріали

Формувальні суміші - це суміші порошків кристобаліту, гіпсу або фосфатних з'єднань, тридиміту, кварцу, аморфного кремнезему, , а також ряду спеціальних добавок. Матеріал формувальних сумішей для ювелірного лиття, призначений для об'ємного втримання порошку вогнетривкого наповнювача, утворюється з мінерального гіпсу. Гіпс утворює осадові породи значного геологічного віку й кристалізується у вигляді призматичної структури, що розташовується шарами, які втримуються молекулами  $\text{H}_2\text{O}$ . У початковому виді гіпс - це двогідрат ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Перед використанням у вигляді зв'язувального компоненту мінеральний гіпс має бути перетворений у напівгідрат затермічної обробки:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{H}_2\text{O}$ . Напівгідрат нестабільний та всмоктує воду, переходячи при цьому в початковий стан двогідрату, що більш стабільний. Коли порошок формувальної маси додається у воду в процесі приготування рідкої формувальної суміші, у її об'ємі поступово з'являються переплетені один з одним кристали гіпсу. Ці гіпсові зчіпки і утримують застигаючу формомасу.

При затвердінні суміші на її характеристики справляють вплив наявність добавок модифікаторів, що змінюють довжину й форму кристалічних голок, котрі утворюють зародки кристалізації. Можна проконтролювати швидкість росту кристалічних зерен, додаючи сповільнювачі, що заважають росту кристалів, або прискорювачі, що можуть збільшувати швидкість, з якої напівгідрат переходить у розчин, чи збільшувати швидкість перетворення напівгідрату гіпсу у двогідрат. У формомасах, що використовуються в ювелірній справі, можна впливати на швидкість захоплення та кінцеву твердість сумішей, змінюючи співвідношення порошок–вода, температуру рідкого замісу та техніку змішування. У процесі прожарювання ливарної форми різні компоненти формувальної суміші проходять ряд трансформацій, що супроводжуються зміною їхнього об'єму. Спочатку розпочинається видалення води і гіпс значно стискається. Стискання гіпсу набуває найбільшого значення при температурах від  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $450\text{ }^{\circ}\text{C}$  – коли

напівгідрат гіпсу перетворюється в ангідрит. Якщо б для виготовлення форми використовувався лише один гіпс, то такі форми легко б розтріскувалися й мали б фактичні розміри порожнини набагато менше, ніж це було б потрібно. Діоксид кремнію ( $\text{SiO}_2$ ) виконує роль компенсатора термічного стискання гіпсу й регулятора термічного стискання форми в ювелірних формомасах. Він існує в декількох кристалічних формах, що поширено використовуються у формомасах для лиття ювелірних виливків. Найбільш поширена в природі кристалічна форма діоксиду кремнію – це кварц. Зміна кристалографічної модифікації кварцу при температурі 570–580 °C відбувається зі збільшенням його об'єму. Інша кристалічна форма діоксиду кремнію – це кристобаліт. В природних умовах має кристобаліт має вулканічне походження. Штучний кристобаліт одержують, нагріваючи кварц до температур 1470 – 1670°C. Особлива властивість кристобаліту, як і кварцу полягає в тому, що при температурах 220–270°C, переходячи з однієї кристалографічної модифікації в іншу, кристобаліт збільшується в об'ємі також. У формувальних сумішах для ювелірного лиття кварц і кристобаліт крім основної функції вогнетривких наповнювачів виконують функцію компенсації термічного стискання зв'язувального матеріалу – гіпсу: до 270 °C кристобаліт забезпечує розширення ювелірної суміші, компенсуючи початкове стискання гіпсу, а в інтервалі температур 300–570°C переважає стискання форми гіпсом. При температурах 570–580°C знову відбувається компенсація термічного стискання гіпсу шляхом розширення кварцу. Коли кварц перетворюється при 570–580°C, а при подальшому нагріванні у формувальній масі повністю завершуються зміни об'ємів. Цю особливість важливо враховувати для визначення кінцевої температури прожарювання форми, якої потрібно досягти до моменту заливання розплаву. Очевидно, що форма, яка виготовлена з ювелірної гіпсо-кварцової формомаси, повинна бути прогріта до температури 600°C. Якщо температура не досягається під час прожарювання форми, її термічна усадка не буде компенсована повністю. Слід також враховувати вплив кварцу на твердість та міцність форми, особливо при підвищених температурах прожарювання. Якщо буде більше вміст кварцу в суміші, то й жорсткіше та

міцніше стає форма в процесі прожарювання. Інтенсивне спікання кварцу відбувається в інтервалі 820–870 °С. Якщо під час прожарювання ливарної форми перевищується вказаний температурний інтервал, то під час вибивання такої форми завжди будуть виникати додаткові труднощі через те, що кварц надмірно спікатиметься. Коли охолоджується, формомаса знову проходить через фази трансформації кварцу та кристобаліту, що викликає стискання майже рівне й протилежне попередньому розширенню. Стискання гіпсу при цьому залишається постійним. При охолодженні кварц зменшується в об'ємі приблизно на 90 % у порівнянні з розширенням при нагріванні, але тільки тоді, коли вся формувальна суміш повністю прогріта до температури спікання кварцу. Якщо забезпечити точність дозування кількості кварцу у формувальній масі, можна досягти повернення параметрів порожнини ливарної форми до початкових розмірів при охолодженні та зменшенні об'єму форми.

При охолодженні після лиття залитої форми гіпс стає дуже крихким і разом із тріщинами, викликаними стисканням через трансформації діоксиду кремнію під час охолодження, забезпечує легке видалення формомаси.

У формувальні суміші також вводять добавки, що змінюють час тверднення формомаси, величину її в'язкості або текучості, впливають на окислювально-відновлювальні процеси в порожнині ливарної форми в процесі її заливання металом і кристалізації виливків. Сприяють видаленню піни й повітря при підготовці формомаси вакуумуванням. Виробники ювелірних порошкових формомас намагаються виготовляти прості суміші, змінюючи основні компоненти й регулюючи добавки в невеликих кількостях і пропорціях, змінюючи розміри часток, задаючи, великий вибір формувальних мас. Склад формомас та технологія їх виготовлення є комерційною таємницею фірм-виробників. Рецептний склад у більшості марок формомас різних виробників майже однаковий: 70–80% вогнетривкого наповнювача, 20–30% гіпсу й добавок. При виборі типу й марки формомаси слід керуватися наступними вимогами, що виносяться до формувальних сумішей для виготовлення ювелірних форм [8]:

- формувальна маса має витримувати необхідні для випалювання модельного воску температури (750–770 °С) і бути тріщиностійкою при цих режимах;

- формувальна маса повинна витримувати температуру заливання металу (для сплавів золота близько 1 000°С), а також динамічний напір сплаву, що подається в форму досить швидко;

- формувальна маса не має містити хімічно шкідливих речовин, що можуть привести до корозії чи окислення опоки або деталей;

- формомаса повинна забезпечувати швидке й легке вибивання виливків із опоки після лиття. Імпортні формомаси (табл. 1.1, [9]) характеризуються високою хімічною чистотою складових компонентів – кварцу, кристобаліту й високоміцного гіпсу. Величина зерен порошку формомас не перевищує 100 мкм.

Таблиця 1.1

Марки формувальних мас закордонного виробництва для ювелірного литва

Типи сплавів	Фірми – виробники формомас			
	Kerrlab, США	Hoben International, Великобританія	Ransom&Randolph, США	SRS, Великобританія
Стандартизовані сплави золота	Supervest 20, Satin Cast 20, Kerrcast 2000	GoldStar21, GoldStar Ultima, GoldStarXL,	Ultravest, Americast	Eurovest-extra, Classik, Eurovest-standart
Платина, біле золото	Platinite PT	Platincast, GoldStar Ultima	Astrovest, Platinum	-
Литво з камінцями	Satin Cast 20	Gemset	Solitaire	Stonecast

Характеристики формувальних мас, що одержали найбільшу популярність у ювелірному литті, представлено в табл. 1.2 [9].

Таблиця 1.2

Характеристики формомас для ювелірного лиття

Марка формувальної маси	Опис марки	Основні характеристики
1	2	3
Kerrcast 2000	Забезпечує високу якість поверхні литва. Використовується для роботи із золотом та сріблом. Дозволяє легко відокремлювати виливки від форми у холодній воді.	- температура заливання: не більше 1093 °С. - час приготування: 9–10 хв.; - час тверднення в опоці: 11–12 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.;
GoldStar XL	Формувальна маса на гіпсовій основі з кремнеземом (71–75%), і органічних речовин (1%), сульфату кальцію (24–28%)	- максимальна температура - час приготування: 7,5–9 хв.; - час тверднення в опоці: 10–11 хв.; - час прожарювання: ≤ 6 год.; - температура заливки: 1100 °С

1	2	3
GoldStar Ultima	Спеціально розроблена для лиття високотемпературних сплавів, таких як благородне біле золото, сплави платини та ін.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- час приготування: 9–11 хв.;</li> <li>- час прожарювання: <math>\leq 6</math> год.;</li> <li>- температура заливання: не більш 1 300 °C;</li> <li>- максимальна температура прожарювання: 850 °C.</li> </ul>
Eurovest-standart, Eurovest-extra	Забезпечують високу якість поверхні литва. Розроблені для підвищення стійкості до термоудару під час циклів нагрівання-охолодження. Мають високі характеристики міцності, легко змочуються й розводяться водою.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- час приготування: 8–9 хв.;</li> <li>- час тверднення в опоці: 11–12 хв.;</li> <li>- час прожарювання: <math>\leq 6</math> год.;</li> <li>- температура заливання: не більш 1 100 °C;</li> <li>- максимальна температура прожарювання: 750 °C.</li> </ul>
Classik	Виливки мають більш високу чистоту поверхні. Формомаса має велику технологічну гнучкість, що дозволяє змінювати параметри лиття. Підходить для більшості ювелірних сплавів. Легко вибивається після лиття.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- об'ємний вихід формомаси з 1 кг порошку: 795 мл.</li> <li>- час приготування: 8–9 хв.;</li> <li>- час тверднення в опоці: 10–12 хв.;</li> <li>- час прожарювання: <math>\leq 6</math> год.;</li> <li>- температура заливання: не більш 1100 °C;</li> <li>-</li> </ul>
Stonecast	Наявність наддрібного зерна забезпечує гладку глянцевою поверхню порожнини форми. Формомаси містять спеціальні добавки, які захищають ювелірні камені від впливу температури під час прожарювання опок. Забезпечується висока газопроникність форми, а отже, висока швидкість вакуумування суміші.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- співвідношення формомаса / вода: 100 / 38 мас.ч.;</li> <li>- час приготування: 8–9 хв.;</li> <li>- час тверднення в опоці: 10–12хв.;</li> <li>- час прожарювання: <math>\leq 15</math> год.;</li> <li>- температура заливання: не більш 1093 °C;</li> <li>- термічне розширення при 750 °C: 0,73 %;</li> </ul>

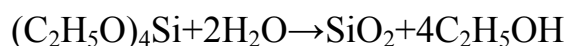
Для лиття з натуральним ювелірним камінням були спеціально розроблені формувальні маси, що дозволяють захистити ювелірні камені від шкідливого впливу підвищеної температури та окислювальної атмосфери під час прожарювання форм й операцій лиття. Прикладом таких сумішей є формомаса «Stonecast» (табл. 1.2). Формувальна суміш у технологічному процесі лиття ювелірних виробів за витоплюваними моделями – це матеріал з обмеженим терміном придатності. Термін придатності порошку формомаси, зазвичай, за умови правильного зберігання, становить 365 днів [10].

Як зв'язувальний матеріал формомаси, гіпс є дуже гігроскопічним та інтенсивно поглинає вологу при контакті з вологою атмосферою, що приводить до втрати його зв'язувальних властивостей. Саме тому формомасу завжди потрібно зберігати в герметичному стані в сухих умовах. Перед використанням нової партії рекомендується здійснювати вхідний контроль її якості, вимірявши час досягнення стану «без блиску» («gloss-off») [10]. Для цього необхідно налити в пластикову склянку воду і додати до неї порошок формувальної маси в необхідній кількості, згідно з інструкцією, і далі почати вимірювання часу. За рекомендований час треба розмішувати суміш скляною паличкою (приготувати шлікер), а потім виконувати спостереження за поверхнею шлікеру: коли суміш почне схоплюватися, буде помітна зміна зовнішнього вигляду поверхні суміші – від блиску до матової текстури. Час, що відповідає цьому переходу, називається точкою стану «без блиску». При наявності достатньо якісної формомаси та при температурі води 20 °C ця точка повинна настати за 7–10 хв.

### 1.3.2 Зв'язувальні компоненти

Зв'язувальні компоненти необхідні для забезпечення міцності та монолітності форм. Нижче наведено основні види зв'язувальних компонентів, що використовуються у ЛВМ.

Етилсилікат (ЕТС)—це прозора бурого або жовтувато-зеленого кольору рідина з запахом ефіру. Густина його складає 1...1,1 г/см<sup>3</sup>. ЕТС розрізняють за вмістом SiO<sub>2</sub> (від 20 до 43 %). Використання його як зв'язуючого пояснюється тим, що він, взаємодіючи з водою, здатний виділяти кремнезем за реакцією:



Спочатку утворюється золь, який використовують для приготування розчинів покриття, тобто для змішування з пилоподібним кварцем. В процесі сушіння золь переходить в гель, який обволікає та склеює окремі часточки піску, потім в аморфний кремнезем, а після прожарювання — у кристалічний кремнезем. Спирт випаровується в процесі сушіння. ЕТС не знижує вогнетривкість твердих матеріалів покриття і надає йому достатню міцність.

Готовий зв'язуючий матеріал (ГЗМ) для форм за моделями, що витоплюються. ГЗ-20Е — це гідролізований розчин ЕТС-40. В якості каталізатора гідролізу використовують 0,05 % HNO<sub>3</sub>, яка дозволяє застосовувати ГЗМ з будь-яким вогнетривким наповнювачем суспензії, оптимальний вміст SiO<sub>2</sub> становить 20 %. Густина ГЗ-20Е знаходиться в межах 0,912...0,915 г/см<sup>3</sup>. Колір зв'язуючого світло-жовтий [10].

ГЗ-20Е було перевірене в заводських умовах лиття деталей відповідального призначення. Форми, виготовлені на основі мікропорошків електрокорунду, а також пилоподібного дистенсиліманітового концентрату з обсіпкою кожного шару оболонки зернистим електрокорундом, були залиті жароміцними сплавами в вакуумі без опорного наповнювача. На основі ГЗ-



20Е також були виготовлені форми з використанням пилоподібного кварцу і кварцового піску, залиті з опорним наповнювачем в атмосферних умовах.

В усіх випадках якість форм виявилась вищою, ніж форм, виготовлених за серійною технологією з використанням гідролізованого ЕТС-40. Спостерігалась тенденція росту виходу придатних виливків відповідального призначення. Таким чином, виявлена можливість використання ГЗ-20Е для лиття за моделями, що витоплюються.

Зробивши ряд дослідів, прийшли до висновку: зв'язуюче, яке являє собою гомогенний полімерний розчин, що отримують при гідролізі ЕТС-40 з малою кількістю води, забезпечує найбільшу міцність форм. Застосування даного зв'язуючого покращує якість керамічних форм, а виливки, отримані в таких формах, мають мінімальні межі відхилень від заданих розмірів.

Низькокремнеземисте етилсилікатне зв'язуюче (НКЕЗ), що містить 4...10 %  $\text{SiO}_2$ . Найбільш оптимальним, відносно використання зв'язуючої здатності, є спосіб приготування НКЕЗ зі ступенем поліконденсації 0,5...0,65.

Цій умові відповідає гідролізне приготування розчину НКЕЗ, що має концентрацію каталізатора ( $\text{HCl}$ ) 0,15...0,18 % з використанням органічного розчинника-розбавлювача з мінімальним вмістом води, наприклад, ефіроальдегідна фракція. Виробничі випробування показали, що НКЕЗ з 4...10 %  $\text{SiO}_2$ , який містить полівінілбутираль, забезпечує при збереженні необхідних технологічних властивостей електрокорундової суспензії зниження на 15...30 % втрат ЕТС-40, збільшення в 1,5...2 рази продуктивності процесу формоутворення і запобігання браку форм за тріщинами, а також відшаровуванню внутрішніх слоїв покриття. Використання НКЕЗ дозволило значно знизити хімічну активність керамічних форм, підвищити якість виливків із титанових і нікелевих сплавів. Дослідні роботи також показали, що застосування розчинів НКЕЗ для виготовлення дистенсиліманітових керамічних форм дозволяє на 6...9 % знизити дефектність спеціальних виливків з жароміцних сплавів.

КП-1 (ТУ 6-02-5-38-92) є продуктом часткового гідролізу і поліконденсації ЕТС-40 в етиловому спирті з умовним вмістом 17...20 %

SiO<sub>2</sub>. По санітарно-гігієнічним характеристикам його відносять до 4-го класу небезпеки за ГОСТ 12.1.005-74 (малотоксичні речовини), яке не вносить будь-яких ускладнень по охороні праці при литті за моделями, що витоплюються. Зв'язуюче декілька місяців може не змінювати свої властивості, якщо зберігати його в закритій ємності. Приготування суспензії зводиться до простого замішування пилоподібного кварцу в зв'язуюче на звичайних мішалках. Зв'язуюче КП-1 може застосовуватися для повітряного, повітряно-аміачного та вакуумно-аміачного сушіння форм. При використанні зв'язуючого КП-1 не потрібно купувати, зберігати і застосовувати органічні розчинники, вартість яких дорівнює вартості етилсилікату.

Кремнійорганічне зв'язуюче Формосил-1. Керамічні форми на цьому зв'язуючому мають добрі фізико-механічні властивості, що дозволяє різко скоротити число шарів, які наносяться (до 2...3) або без скорочення числа шарів заливати форми без опорного наповнювача і прожарювати їх при менших температурах ( $\leq 730^{\circ}\text{C}$ ), скорочуючи енерговитрати на 25...40 % [8].

Рідке скло - це водний розчин лужних силікатів (змінного складу) Na<sub>2</sub>O\*nSiO<sub>2</sub> або K<sub>2</sub>O\*nSiO<sub>2</sub>. У ливарному виробництві застосовують натрієве рідке скло як більш дешеве і менш дефіцитне, ніж калієве. Більшість спеціалістів вважають рідке скло колоїдним розчином (золь), яке при твердненні у формувальних сумішах переходить у гель, зв'язуючи при цьому піщинки.

Силікат-глибу отримують в результаті сплавлення в спеціалізованих печах (при температурі 1400...1500°C) кварцового піску із содою Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> чи сульфатом натрію Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Рідке скло, отримане з змішаних сортів глиби, називають содово-сульфатним. Силікат-глиба, розчинена в воді, розчинним або рідким склом [9].

В країнах СНД випускається рідке скло содове з модулем 2,65-3,50 (низькомодульне з модулем 2,61...3,00 і високомодульне з модулем 3,01...3,50) та содово-сульфатне з модулем 2,60...3,00 [8].

Використання рідкого скла дозволило широко застосовувати швидкісну технологію виготовлення форм і стержнів, зміцнюваних в контакт з

оснасткою при цехових температурах, тобто з цього зв'язуючого почалося широке запровадження холоднотверднучих сумішей (ХТС) у ливарному виробництві. Час зміцнення форм скоротився в кілька разів (часто до кількох хвилин), підвищилась точність форм і виливків, а також продуктивність праці. Важливою перевагою рідкого скла є його нетоксичність і недифіцитність.

Кристалогідрати—це кристалічні речовини, що містять кристалізаційну воду. Зі збільшенням температури кристалогідрати втрачають воду і перетворюються в безводні кристали або кристалогідрати з меншим вмістом води. Кристали, що випали з перенасиченого розчину, зв'язують зерна піску. При тепловому обробленні в водному середовищі кристалогідрати знову кристалізуються з насичених розчинів, приєднуючи кристалізаційну воду.

Зворотність кристалогідратних солей обумовила використання їх в якості зв'язуючих водорозчинних солей. До цих зв'язуючих відносять також цементи і гіпс.

Гіпсові зв'язуючі найбільш ефективні в техніко-економічному відношенні, особливо за витратами електроенергії та праці на одиницю продукту. Необмежені й запаси вихідної природної сировини, а також побічних матеріалів, які містять гіпс, що утворюються на підприємствах хімічного виробництва [7].

Гіпсовими зв'язуючими матеріалами називають промислові продукти, отримані при термічній або гідротермальній обробці гіпсової сировини, яка порівняно легко дегідратується (зневоднюється) і в залежності від інтенсивності термічної дії перетворюються на ряд продуктів, що суттєво відрізняються за своїми властивостями.

Гіпсові зв'язуючі речовини в залежності від теплового оброблення розділяють на дві групи: низьковідпалові (безпосередньо гіпсові) та високовідпалові (ангідритові). Перші отримують тепловим обробленням при низьких температурах (110...180°C); вони складаються головним чином з напівводного гіпсу  $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$  та характеризуються швидким твердненням (це будівельний, формувальний, високоміцний гіпс). Другі

відпалюють при високих температурах (600...800°C); до них переважно належить безводний гіпс (ангідрит  $\text{CaSO}_4$ ), відрізняються вони повільним твердненням (ангідритовий цемент та естріх-гіпс)

Для виробництва гіпсових зв'язуючих речовин, як основну сировину, використовують природний двоводний гіпс, ангідрит, а також деякі відходи промисловості (фосфогіпс, борогіпс та інші)

Природний двоводний гіпс—це горна порода осадового походження, що складається в основному з крупних або дрібних кристалів двоводного сірчаноокислого кальцію  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Гіпсовим каменем називають щільні утворення гіпсу. Згідно ГОСТ 4013-91, гіпсовий камінь для виробництва в'язучих речовин повинен містити не менше 95 % двоводного гіпсу в сировині 1-го сорту (тільки з такої сировини виготовляють високоміцний гіпс), не менше 90 % в сировині 2-го сорту та не менше 80 та 70 % в сировині 3-го та 4-го сорту. У гіпсових породах кращих родовищ зазвичай міститься до 2...5 % домішок, але часто їх кількість може досягати більше 10...15 %.

Склад хімічно чистого двоводного гіпсу: 32,56 %  $\text{CaO}$ , 46,51 %  $\text{SO}_3$  та 20,93 %  $\text{H}_2\text{O}$ , а в напівводному гіпсі 6,2% води

Гіпс м'який мінерал, його твердість дорівнює 2 (за Моосом). Щільність 2200...2400 кг/м<sup>3</sup>. Він поганий провідник. Його теплопровідність від 16 до 46°C дорівнює 0,302 Дж/м\*К\*с. Гіпс малорозчинний у воді, розчинність його більше між 32 та 41°C (див. табл.1.3), об'ємне розширення при цьому становить 0,2...0,3 % [11]

Таблиця 1.3 Розчинність частин гіпсу у воді при різних температурах

Температура, °C	0	18	24	32	38	41	53	72	86	90
Кількість частин гіпсу $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,241	0,256	0,265	0,272	0,272	0,269	0,266	0,265	0,239	0,222

Таблиця 1.4 Розчинність гіпсу у воді в залежності від температури

Температура, °C	0	18	24	32	38	41	53	72	86	90
Кількість частин води на 1 частину CaSO <sub>4</sub> *2H <sub>2</sub> O	415	386	378	371	368	370	375	491	417	451

На основі наявних даних розчинність двогідрату, перерахованого на CaSO<sub>4</sub>, можна прийняти рівною 2,05 г у літрі води при 20°C

Основою виробництва гіпсових зв'язуючих матеріалів є теплова обробка двогідрату сульфату кальцію. Втрачаючи частину кристалізаційної води, двоводний гіпс переходить в напівводний, який в нормальних умовах хімічно активний в відношенні до рідкої води, що дозволяє використовувати даний продукт в якості зв'язуючого. Повне зневоднення двогідрату сульфату кальцію призводить до утворення нерозчинного ангідрида, будучи інертним в відношенні до води, він є шкідливою домішкою в складі гіпсових зв'язуючих. Хімічна реакція утворення двогідрату теоретично відбувається при температурі 107°C:



В залежності від способу теплової обробки може утворюватися α- чи β-модифікації напівводного гіпсу. При гідротермальній обробці гіпсового каменю насиченим водяним паром в замкнутих апаратах (автоклавах) утворюється α-напівгідрат (високоміцний гіпс), у відкритих ємностях, які сполучаються з атмосферою (котлах), відбувається утворення β-напівгідрату (будівельного гіпсу).

Результати досліджень останніх років показали [10], що до самостійних модифікацій можна віднести тільки чотири з них, а саме: двоводний гіпс, напівводний гіпс, розчинний ангідрит і нерозчинний ангідрит, ідентичний природному мінералу. Перша і остання модифікації стабільні, друга і третя— метастабільні.

Схема термічних перетворень всіх описаних в літературі стабільних і метастабільних модифікацій двоводного гіпсу наведена нижче (рис. 1.3).

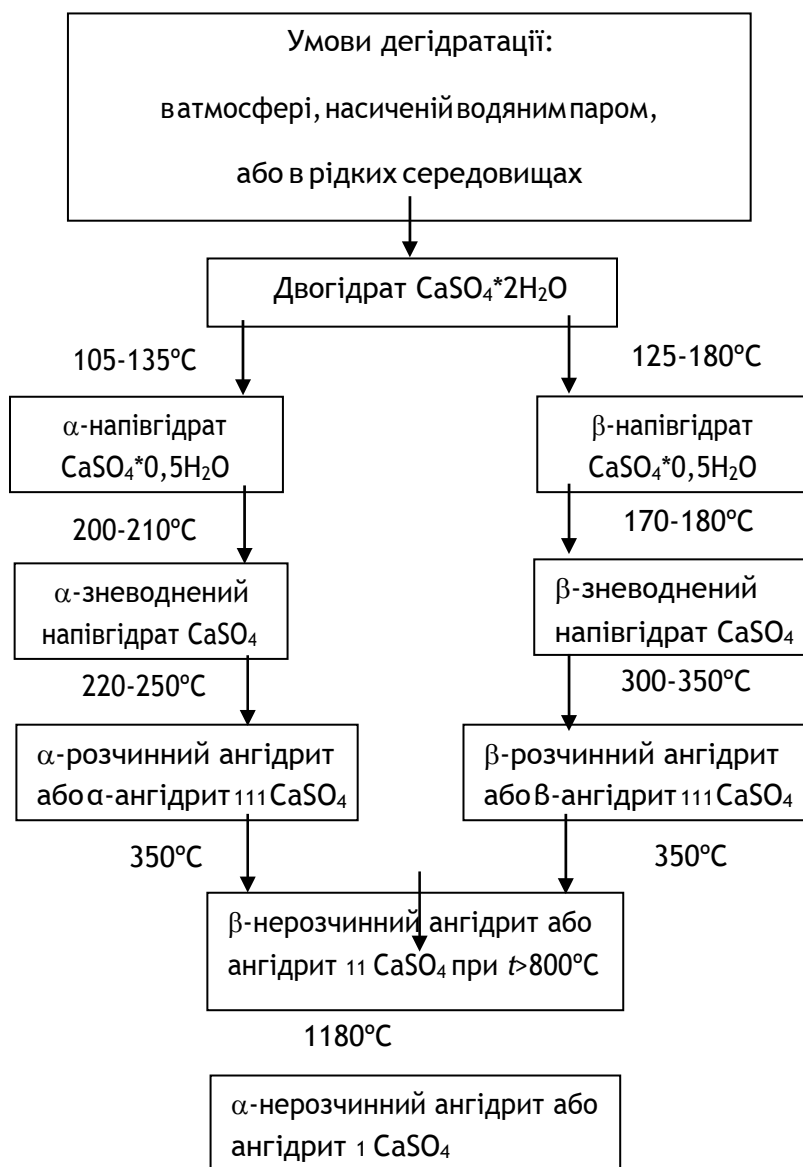


Рисунок 1.3 - Схема модифікаційних перетворень двоводного гіпсу

Основні характеристики фаз системи  $\text{CaSO}_4\text{--H}_2\text{O}$  представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 Основні характеристики фаз системи  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 

Показник	Фази						
	двогидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	напівгидрат $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$		ангидрит $\text{CaSO}_4$ 111	ангидрит $\text{CaSO}_4$ 11	ангидрит $\text{CaSO}_4$ 1	
Природний мінерал	гіпс	басаніт		–	ангидрит	–	
Технологічні форми	–	$\alpha$	$\beta$	$\alpha$	$\beta$	–	–
Молекулярна маса, г	127,17	145,15		136,14			
Щільність, г/см <sup>3</sup>	2,31...2,32	2,75	2,62	2,58	2,48	2,89...2,98	
Вміст кристалізаційної води, %:	60	15		-	-	-	
за стехіометрією	20,92	6,21		0	0	0	
в виробничих умовах	–	7,11	9,11	0,35	0,75	0	

### Високоміцний гіпс

У вітчизняній та зарубіжній промисловості для точного литва кольорових металів використовується високоміцний гіпс.

Високоміцний гіпс має ряд цінних властивостей: пластичність, невеликий строк тверднення, висока міцність, розширенням при твердненні, мале водопоглинанням, максимальний вміст напівгидрату (при наявності однакової чистоти сировини)

Високоміцним гіпсом називають в'язуче, яке складається в основному з  $\alpha$ -модифікацій напівводного сульфату кальцію, отримане термічним обробленням двоводного гіпсу у герметичних апаратах під тиском пари або кип'ятінням його у водних розчинах солей з наступним сушінням та розмолотом у порошок. Високоміцний гіпс повинен характеризуватися міцністю на стиск не менше 25...30 МПа

Густина високоміцного та будівельного гіпсу коливається в межах 2600...2750 кг/м<sup>3</sup>. Об'ємна маса у насипному стані зазвичай складає 800...1100 кг/м<sup>3</sup>, а в ущільненому 1250...1450 кг/м<sup>3</sup>.

Згідно ГОСТ 4013-91 для виготовлення високоміцного гіпсу можна використовувати тільки гіпсовий камінь 1-го сорту, який містить не менше 95 %  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Але кращі сорти високоміцного гіпсу отримують при використанні сировини з 95...97 % двогідрату й більше.

Підвищена міцність автоклавного гіпсу зумовлюється тим, наскільки тісно кристали двогідрату злилися один з одним, зрослися у кристалічні групи та агрегати. Велику роль при цьому відіграють форма та розмір кристалів. Так, висока міцність гіпсів  $\alpha$ -модифікації зумовлюється їх сплутано-волокнистою структурою. Кристали мають густу упаковку, гладкий рельєф поверхні з незначною кількістю пор та капілярів, що забезпечує більшу повноту його переходу в двоводний гіпс. Цими властивостями й пояснюється знижена водонасиченість  $\alpha$ -модифікації напівводного гіпсу при однаковій з  $\beta$ -модифікацією пластичністю. Невеликі кристали з сильно розвиненою питомою поверхнею  $\beta$ -напівводного сульфату кальцію частково екранують зерна зв'язуючого та створюють просторові перешкоди максимально повному перетворенню у двогідрат

Для гідратації напівводного гіпсу з утворенням двоводного гіпсу теоретично необхідно 18,6 % води від маси в'язучої речовини, практично ж у високоміцний гіпс добавляють 35...40 % води (по масі) для надання йому необхідної консистенції. Стандартній консистенції відповідає розплив маси до діаметра  $180 \pm 5$  мм [8]. При цьому об'ємне розширення високоміцного гіпсу складає 0,2...0,3 %, границя міцності на стиск зразків, висушених при 60°C до постійної ваги, 25...40 МПа.

Міцність гіпсу збільшується поступово при перетворенні напівгідрату у двогідрат, зростання її закінчується після кристалоутворення гіпсу з водою. Тому гіпсові форми не можна відразу після тверднення прожарювати або сушити, щоб не зменшити їх міцності. Міцність гіпсу досягає максимуму при висушуванні його до постійної ваги або через сім діб. Час перемішування також впливає на міцність. Так, наприклад, при довгочасному перемішуванні гіпсової маси, особливо в механічному змішувачі, може відбутися



відновлення гіпсу, при цьому різко падає його міцність або гіпсова маса зовсім не твердіє.

Для прискорення процесу зростання міцності гіпсу рекомендується форми або моделі з нього піддавати сушці при температурі не вище 50...60°C, тобто в умовах, які не допускають зворотної дегідратації.

В залежності від строків тверднення гіпсові зв'язуючі речовини, згідно ГОСТ125-79, класифікуються на три види:

а) швидкотверднучі: початок тверднення не раніше 2 хвилин, кінець не пізніше 15 хвилин (сюди відносяться високоміцний гіпс);

б) нормальнотверднучі: початок тверднення не раніше 6, кінець не пізніше 30 хвилин (формувальний і будівельний гіпс);

в) повільнотверднучі: початок тверднення не раніше 20 хвилин, кінець не нормується.

Оптимальними для отримання форм строками являються: початок тверднення не раніше 7...10 хвилин та кінець не пізніше 15...20 хвилин [9].

Строки тверднення гіпсу залежать від ряду факторів: від якості сировини, тонкості розмелу, умов відпалу, температури води при затворінні, величини водогіпсового співвідношення, часу та умов збереження.

Швидке тверднення напівводного гіпсу є у більшості випадків позитивною властивістю, яка дозволяє швидко виймати виріб із форми. Але у ряді випадків швидке тверднення не бажане (зокрема, коли треба збільшити період пластичного стану гіпсу). Для регулювання строків тверднення (прискорення та уповільнення) в гіпс при замішуванні вводять різні добавки.

Пористість гіпсу сприяє його водопоглинанню. Для збільшення стійкості гіпсових форм та оснастки гіпс повинен володіти мінімальним водопоглинанням. Високоміцний гіпс на відміну від будівельного має значно менше водопоглинання, так як володіє щільною кристалічною структурою.

Усадка. Напівводний гіпс при тужавінні та твердненні у початковий момент має властивість збільшуватись в об'ємі приблизно на 0,5...1,0 % (це дозволяє йому точно відтворювати контури моделі). Після початкового розширення гіпсові вироби при наступному висиханні дають усадку у розмірі

біля 0,05...0,10 % у результаті зменшення вологості з 5...10 до 1...2 %. Високоміцний гіпс розширюється при твердненні значно більше, ніж звичайний; це слід враховувати при виготовленні з нього форм і моделей.

Гіпсові зв'язуючі  $\alpha$ - та  $\beta$ -модифікацій у твердому стані, а також вироби з них, проявляють пластичні деформації, особливо при тривалій дії згинаючих навантажень.

Тонкість розмолу гіпсу значно впливає на якість гіпсових форм і моделей. При тонкому подрібненні гіпсу отримується не тільки гладка поверхня гіпсових форм і моделей, але й відбувається також невеликий і рівномірний їх знос.

Довговічність. Вироби з  $\alpha$ - та  $\beta$ -напівводних гіпсів характеризуються великою довговічністю при службі їх у повітряно-сухих середовищах. При тривалій дії води при низьких температурах, коли вироби у водонасиченому стані систематично або замерзають, або відтають, вони руйнуються [10].

## 1.4 Аналіз видів браку в ювелірному виробництві

Основними причинами браку є частіше за все нетехнологічність конструкції деталей, недосконалість технологічного процесу, а також порушення технології та недоброякісність технологічних матеріалів [12].

Брак через нетехнологічність конструкції деталі виникає в тих випадках, коли конструктор не враховує можливості ливарної технології. Наприклад, якщо в гонитві за зменшенням числа деталей у вузлі він конструює невиправдано складну деталь з товщинами стінок, що різко змінюються або в прагненні знизити масу деталі вказує в кресленні, нехтуючи можливостями технології, занадто тонкі стінки. Ці зауваження не слід розуміти так, що конструктор вправі ставити перед ливарниками лише прості завдання. Сучасний рівень розвитку процесу лиття за витоплюваними моделями допускає виливки досить складних деталей. Однак всебічне обговорення та узгодження креслення литої деталі конструктором і технологом-ливарником, створення технологічної конструкції набагато полегшують процес виробництва і сприяють зниженню втрат, в тому числі і від браку.

Контакт в роботі конструктора і ливарника не обмежується узгодженням креслень, в ряді випадків виникає необхідність виготовлення дослідних відливок, що дозволяє створити найбільш раціональну, технологічну конструкцію литої деталі.

Брак через недосконалість технологічного процесу зустрічається найбільш часто. Перед запуском кожного нового вилівка у виробництво технологія її виготовлення повинна бути обрана на основі наукових принципів, а потім випробувана на досвідчених виливках. Пробні виливки необхідно всебічно досліджувати на геометричні розміри, наявності внутрішніх дефектів, відповідності механічних службових властивостей. Після доопрацювання технологічного процесу повинна бути повна впевненість в тому, що він надійно забезпечує отримання придатних виливків і що кожен випадок браку являється наслідком порушення технології. Причини цих порушень повинні повністю виявлятися і усуватися.

Технологічний процес слід постійно вдосконалювати, спираючись на досягнення науки, прагнучи полегшити працю робітників, максимально використовуючи механізацію та автоматизацію виробництва.

Брак, викликаний порушенням технології, може з'явитися на будь-якій операції, наприклад в результаті недбалої підготовки матеріалів, порушення режимів сушки шарів суспензії на модельних блоках, низькою або занадто високої температури заливається розплав. Брак неминуче збільшується при незадовільному стані устаткування та оснащення, а також внаслідок недбалої роботи. Треба стежити за тим, щоб технологія не порушувалася, а зобов'язані в першу це робити чергу виробничий майстер і технолог. Вимушений відступ від технології можливий лише на підставі серйозних обставин, наприклад, при аварії обладнання. Кожен такий відступ від технології повинен бути зафіксований і, відповідно, документально оформлений.

Дефектні виливки поділяють на три види:

- 1) остаточний брак - виливки, виправлення яких неможливий або економічно недоцільний;
- 2) умовний брак – виливки з дефектами, при яких допускається робота деталі у виробі; такі виливки не підлягають виправленню, але їх пропускають в виробництво з картою відхилень, за погодженням з конструктором;
- 3) виправний брак - виливки, дефекти яких можуть бути виправлені (наприклад, заваркою або додаткової механічною обробкою), після чого вони стають придатними.

Брак виливків поділяють на внутрішній (виявляється в ливарному цеху) і зовнішній (брак ливарного цеху, виявлений в механічному або інших цехах заводу). Найбільші збитки приносить зовнішній брак, так як до вартості виливків додається вартість їх подальшої обробки, при якій виявляється ливарний дефект. Зовнішній брак ливарний цех зобов'язаний замінити придатними виливками.

Кожен забракований контролером виливок повинен бути класифікований за видом браку. Результати розбраковки виливків необхідно фіксувати в журналі, де вказують загальне число виготовлених виливків, придатних та забракованих, з класифікацією за останніми видами браку. Для прийняття ефективних заходів щодо запобігання браку, його слід правильно класифікувати.

### 1.4.1 Можливі види браку

#### 1.4.1.1 Брак воскових моделей

Одна з причин браку виливків ховається у воскових моделях. Вчасне і правильне встановлення дефекту попереджає брак виливка. Нижче наведено можливі види браку воскових моделей [12]:

- 1) Брак за розмірами моделей. Являється результатом неправильного розрахунку розмірів еталона виробу; неправильно зібраної прес-форми; неякісного виготовлення гумової прес-форми.
- 2) Засор в моделі. Результат використання забруднених модельних композицій та можельного звороту; забруднена прес-форма; зберігання моделей в запиленних приміщеннях.
- 3) Деформація моделей. Причини: рано вилучили модель із прес-форми; надто довга витримка моделі перед збиранням; підвищена температура приміщення.
- 4) Місцева усадка. Причини: підвищена температура модельного складу; неохолоджена прес-форма.
- 5) Кульки та здуття. Являється результатом надлишку воску в модельному складі; надлишковий тиск при запресуванні; погане перемішування модельного складу; відсутність вентиляційних каналів у прес-формі.
- 6) Недопресовка. Може бути спричинена низькою температурою модельного складу; недостатнім тиском при запресовці; забрудненістю порожнини прес-форми.

- 7) Облой та задирки. З'являються в результаті неякісного виготовлення прес-форми; неправильної збірки прес-форм; забруднена площина роз'єму прес-форми.
- 8) Неякісна поверхня. Результат необачного очищення та зберігання моделей; надлишок талька.
- 9) Тріщини на моделях. Результатом може бути: інтенсивне охолодження прес-форми; тривала витримка моделей перед вилученням із прес-форми.

Вчасно помічений брак моделі попереджає невиправний брак при литві, а отже, при дотриманні всіх технологічних операцій при виготовленні, зберіганні моделей, брак з вини моделей можна повністю попереджати.

#### 1.4.1.2 Брак з вини ливарної форми

Ще одні причини браку виливків ховаються в самій ливарній формі. Брак може з'явитися, якщо недотримано технологічних процесів виготовлення форми, або ж якщо використовуються неякісні формувальні матеріали. Брак ливарнох форми буває [12]:

- 1) Раковини округлої форми на поверхні ливарної чаші. Утворюється в результаті неякісної формовки опок в процесі вакуумування, або ж через високу в'язкість формувальної суспензії.
- 2) Тріщини форми. Являються результатом недотримання часового і температурного режимів при видаленні модельного складу.
- 3) Спливання воскових моделей чи стояка. Такий брак форми бере початок ще при збірці «ялинок», а саме: халатність при напайці моделей на стояк; висока амплітуда коливання стола; нехтувальне закріплення стояка.
- 4) Темний колір формувальної суміші після прожарювання. Результат неполного випалювання модельного складу.

Освітлено основні види браку ливарної форми, що не приведуть до браку виливків, якщо вони будуть вчасно помічені та усунуті. Як можна побачити, зазвичай брак виникає через недотримання технологій виготовлення ливарної форми, отже йому можна запобігти, якщо приділяти роботі максимум уваги та бути завжди зосередженим на результаті.



#### 1.4.1.3 Брак виливків

Навіть при дотриманні технологічних операцій виготовлення ливарної форми та моделей брак все одно виникає. Він може спричинятись недотриманням технологій вже заливання металу в форму, або ж неправильно розробленої ливникової системи. Також однією з причин є використання неякісного сплаву. Більш детально основні види браку виливків наведено нижче [12]:

- 1) Неправильний хімічний склад металу. Причина – неправильна шихтовка сплаву; відхилення в технології ведення плавки.
- 2) Забруднення. Як наслідок забруднення металу й тигеля, а також низької міцності ливарної форми.
- 3) Шлакові включення. Виникають в результаті потрапляння шлаку в форму з металом.
- 4) Усадкові раковини, рихлоти, пористість. Причини: недостатнє живлення виливків; нетехнологічність виливка; заливання перегрітим металом; перегрівання якого-небудь вузла виливка.
- 5) Газові раковини. Результат недостатнього часу прожарювання форм; близьке встановлення форм одне до одного і до дверей печі; недотримання технології плавки; використання вологої шихти та плавильного інструменту; недостатнє розкислення металу; неповне видалення модельного складу.
- 6) Гарячі тріщини на виливках. Утворюються, якщо наявні місця напружених місць у виливках (різкі переходи; гострі кути); перегрівання металу.
- 7) Незаливи, неспаї. Причинами стають: недостатня температура ливарної форми; низька температура металу при заливанні; переривання

струменя металу; руйнування ливарної форми; недостатня кількість металу.

- 8) Корольки на поверхні виливків. Виникають при перериванні струменя металу при заливанні, а також при неякісній формовці ливарної форми.
- 9) Холодні тріщини в деталях. Результат нетехнологічності деталі; різкого охолодження залитих блоків; поломка при вибивці та очистці.
- 10) Порушення геометрії виливків. Причина – необачна взаємодія з виливками; порушення технології вибивання виливків із форми.
- 11) Залишок формувальної суміші на виливках. При кінцевому очищенні не витримана концентрація плавикової кислоти або час витримки в розчині.

Брак виливків поділяється на той, що можна і доцільно виправляти (без витрачення грошей більше, ніж на виготовлення нового виробу), або ж на не виправний чи недоцільний до виправлення. Найбільш прогресивним способом усунення браку виливків являється застосування лазерних технологій.

## **1.5 Методи виправлення браку виливків**

### **1.5.1 Лазерні технології в металообробній та ювелірній промисловості**

Перші лазери з'явилися у кінці 1950-х - на початку 1960-х років, але вже сьогодні можна назвати більше 350-ти різних застосувань лазерів майже у всіх сферах людської діяльності. Найбільш поширена серед них лазерна обробка матеріалів. Лазерна технологія виявилася дуже динамічною і самостійною областю сучасного машино- і приладобудування, що за обсягом капіталу виходить на мільярдні оберти. Найбільш ефективне технологічне застосування лазерного випромінювання в мікро обробці, розкрою і різанні матеріалів, зміцнюючої поверхневої обробки, зварюванню, маркуванні, гравіюванні, поверхневому очищенні матеріалів, вирощуванні тривимірних об'єктів, формуванні виробів складної форми з листового металу, спеціальних технологічних операціях лазерного оброблення [13].

З винайденням лазерних технологій відкрилися безмежні можливості у надзвичайно точній обробці металевих заготовок чи готових виробів, якої не може добитися людське око та навички майстра. З лазерним маркувальником високої потужності можна забути про будь-які пристрої для розмітки та різання металу, адже потужний промінь розрізає його за рекордні строки, маючи ідеальну точність. Використання лазера при розкрої і різанні на сьогодні дуже поширено, бо водночас із високою точністю обробки забезпечується значна економія матеріалів за рахунок малої ширини різа і раціональної системи розкрою у порівнянні з традиційними. Лазерний розкрій матеріалів широко використовується в сучасній автомобільній, аерокосмічній, суднобудівній, легкій промисловості, електротехнічній промисловості, сільськогосподарському машинобудуванню. На атомних електростанціях станціях при виконанні монтажних та ремонтних робіт устаткування часто виникає необхідність у дистанційній обробці (різанні) різних металевих виробів при високих рівнях радіації.

В ювелірній справі лазер відкрив можливості для виготовлення неймовірно дрібно деталізованих прикрас, які неможливо виготовити литтям. Завдяки специфічним властивостям лазерного випромінювання, характерній високій концентрації електромагнітної енергії вона може значно локалізуватись, що дозволяє контролювано видаляти мікроскопічні об'єми речовини і в такий спосіб виконувати прецизійну обробку матеріалу. На даний момент можна одержувати мікроскопічні отвори у різних матеріалах незалежно від їхніх властивостей. Ще однією якісною особливістю лазера є мінімальний вплив на поверхню, а саме – лазер взаємодіє з металом лише у заданих площинах, не впливаючи на сусідні, зберігаючи товарний вигляд виробів, тільки незначно нагріваючи метал, не досягаючи 100°C (при правильних налаштуваннях), що дозволяє наносити гравіювання на вироби з емаллю та вставленим дорогоцінними камінцями, а також на вироби з родіюванням чи позолотою, зберігаючи її скрізь крім місць гравіювання. Відмінно від традиційних методів лазерн дозволяє проводити маркування на будь-яких матеріалах безконтактно та дуже швидко при забезпеченні надзвичайно високої якості. Обробку можна проводити не тільки на поверхні, але і всередині матеріалу, прозорого для променя лазера. Але окрім плюсів технології вона має й значний мінус: метал незворотно спалюється в процесі [13].

Термічні лазерні технології впроваджуються в промисловість України, однак не швидко. Широкого застосування у промисловості отримало лазерне різання металевих і неметалевих листових матеріалів. Швидкість різання забезпечується понад 10 м/хв, товщину сталевих листа, що розрізається, до 15...20 мм, а для тонкого (до 5 мм) листа відмінну чистоту різання, для аркушів великої товщини – достатню чистоту. Використання лазерного різання (далі ЛР) рекомендовано при терміновому виконанні замовлень. Сучасні лазерні різальні машини обладнані комп'ютерною системою керування. Це дозволяє швидко змінювати програми технологічних процесів вирізання окремих деталей.

### 1.5.2 Види лазерів

Системи лазерів поділяються на 3 основні групи: твердотільні, газові, серед яких особливе місце займає CO<sub>2</sub>-лазер та напівпровідникові лазери. Нещодавно з'явилися такі лазери, що перебудовуються, на барвниках, твердотільні лазери на активованих скельцях [14].

Із усіх існуючих лазерів тривалої дії найбільш потужними, просунутими у практичному відношенні та пристосованими до різки матеріалів, зварювання металів, термічного зміцнення поверхні деталі й ряду інших операцій є електророзрядні CO<sub>2</sub>-лазери. Величезний інтерес до CO<sub>2</sub>-лазерів розуміється й тим, що в нього більша ефективність перетворення електричної енергії в енергію лазерного випромінювання у сполученні з максимально досяжною потужністю енергії або імпульсу дуже перевершує аналогічні параметри інших типів. З використанням їхнього випромінювання розділяють ізотопи, роблять незвичайні хімічні реакції. Існують проекти передавання енергії за допомогою CO<sub>2</sub>-лазерів із Землі в космос чи з космосу на Землю, обговорюються питання створення реактивних двигунів.

Лазери на благородних газах низького тиску: He-Ne, He-Xe і ін. - це малопотужні системи, що відрізняються високою монохроматичністю і спрямованістю. Вони застосовуються у спектроскопії, стандартизації частоти та довжини випромінювання, а також у налаштуванні систем оптики.

Аргоновий іонний лазер - це лазер безупинної дії, що генерує зелений промінь. Накачування здійснюється електричними розрядами. Потужність такого лазера досягає декількох десятків Вт. Знайшов застосування в медицині, спектроскопії, нелінійній оптиці.

Робоче середовище хімічних лазерів - це суміш газів. Основне джерело енергії - це хімічна реакція між компонентами робочих сумішей. Існують варіанти лазерів імпульсної та безперервної дії. Вони мають широкий спектр генерації в ближньої ІЧ - області спектру. Мають велику потужність безупинного випромінювання і велику енергією в імпульсі. Такі лазери

застосовуються у лазерній хімії, спектроскопії, системах контролю складу атмосфери.

Лазери напівпровідникового типу складають найбільш численну групу. Накачування виконується інжекцією через гетероперехід, а також електронним пучком. Такі лазери застосовуються для спектроскопії, в оптико-електроніці, оптичної стандартизації частоти, оптико-волоконних ліній зв'язку для контролю форми, інтерференційних смуг деформації, у робототехніці а також у системах пожежної безпеки. У повсякденному житті застосовуються в системах оптичної обробки інформації (у сканерах) у парі з системою багатограних дзеркал, застосовуваних для відхилення променя у звуко- та відеосистемах чи в охоронних системах. Останній час напівпровідникові лазери, завдяки своїм малим розмірам, застосовуються й у медицині [15].

Рубінові лазери мають високий поріг генерації й отже низький КПД, зазвичай 0.5%. Потужність також дуже залежить від робочої температури, яка обмежує частоту повторення імпульсів величиною 10 Гц чи менше. Однак його широке застосування обмежує дуже висока вартість спеціально вирощуваного кристала, особливо коли потрібен стрижень великих розмірів. Лазери такого типу, наприклад, стали широко використовуватися для спеціальної фотографії - голографії, коли вдалося домогтися достатньої чутливості плівки на частоті 694 нм. Такі лазери зручніші й для пробивання дуже точних отворів, бо зі зменшенням довжини хвилі розміри крапки фокуса, що обмежується дифракцією, зменшуються. Також у даний час напівпровідникові прилади на арсеніді галію (GaAs) можуть зварюватися з тугоплавкими металевими провідниками за допомогою рубінового імпульсного лазера.

### 1.5.2.1 Імпульсний лазерний маркувальник SharpMark Fiber

Обладнання SharpMark Fiber розроблено в США на основі імпульсного іттербієвого волоконного лазера. Популярний у ювелірній промисловості завдяки своїй багатофункціональності [19], а саме:

1. Швидка зміна параметрів маркування та гравіювання.
2. Різні установки параметрів маркування об'єктів у циклах.
3. Можливість інвертованого маркування растрових зображень.
4. Маркування и гравіювання на плоскій и циліндричній поверхностях.
5. Інвертування X и Y координат.
6. Корекція лінійності поля маркування.
7. Корекція шкали и положення центра поля маркування.
8. Можливість тривимірного маркування.

Параметри маркування змінюються в межах:

- $N = 5 \dots 30$  Вт;
- $V = 1 \dots 10000$  мм/сек;
- $\nu = 30 \dots 60$  кГц.

Комплектація лазерного маркувальника наведена на рис. 1.4. Технічні характеристики наведено в таблиці 1.6 [20].



Рис. 1.4 SharpMark Fiber

Таблиця 1.6 Технічні характеристики лазерного маркувальника SharpMark Fiber

Лазерне джерело	Іттербієвий імпульсний волоконний лазер з опцією «Hight Contrast»
Довжина хвилі	1064 нм
Опції вихідної потужності	10, 20, 30, Вт
Тривалість імпульсу	120 нс
Енергія в імпульсі випромінювання	До 1 мДж
Частота послідовності імпульсів	10 - 200 кГц, 20 - 200 кГц, 30 - 200 кГц, 50 -200 кГц
Якість пучка, M2	< 1.8
Доступні лінзи	160 мм , (100, 254, 330 мм)
Скануючий пристрій	2-х осьовий сканатор, США
Розмір поля маркування	102 x 102 мм (62 x62 мм, 160 x 160 мм, 217 x217 мм) залежить від лінз
Раздільна здатність	до 1200 dpi
Швидкість	до 10 000 мм/сек
Швидкість написання букв	до 450 букв/сек
Програмно-апаратна роздільна здатність	1,6 мкм
Розміри маркувальної голівки	370 x 150 x 130 мм

Фокусна відстань лазера – 20.1 см. Для знаходження фокусу маркувальник оснащено додатковим рубіновим лазером (рис.1.5) [20].



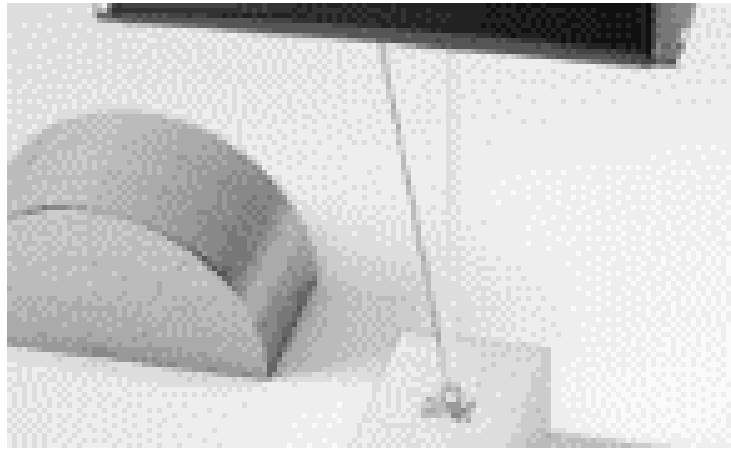


Рис. 1.5 2D-фокусування

Додаткове оснащення – роторний пристрій РТ-1-40, кут нахилу для маркування по внутрішній поверхні може задаватися до  $40^\circ$  (рис. 1.6). Деталь установлюється на невеликий трьохкулачковий патрон чи спеціальний тримач кілець. Установлюється на столик з вертикальним переміщенням для ручних камер чи на основу автоматичної камери. В нашому випадку – на столик [20].



Рис. 1.6 Роторний пристрій Рт-1-40

Для керування роторним пристроєм та однокоординатним столом використовується контролер зовнішніх пристроїв (рис. 1.7) [21].



Рис. 1.7 Контролер зовнішніх пристроїв

Нижче наведено приклади роботи маркувальника.



Рис. 1.8 Хрестик з розмірами 12х20мм, повністю вирізаний лазером



Рис. 1.9 Герб на стелевій пластині



Рис. 1.10 Гравіювання на камені



Рис. 1.11 Візерунок з найменшою товщиною 0.05 мм



1.12 Оленятко з розмірами 15х12мм, повністю вирізане на лазері

### 1.5.3 Лазерне зварювання

Лазерне зварювання — це один з найтехнологічніших методів зварювання. За потужністю він не поступається електронно-променевому зварюванню, але при цьому не вимагає побудови вакуумної камери. Лазерне зварювання виконують у середовищі захищених газів чи на повітрі. На відміну від електронної дуги та електронного променя, на лазерний промінь не справляють впливу магнітні поля, а це забезпечує стабільніше формування зварювального шва. Використання лазерної зварки забезпечує незначні деформації зварних конструкцій та високу технологічну міцність зварних з'єднань. Нагрів та плавка металу при лазерному зварюванні відбуваються настільки швидко, що деформація тонкої кромки може не встигнути відбутися до того, як метал затвердне. Це дає можливість зварювати тонку деталь із масивною. Для цього необхідно, щоб при плавленні тонкої кромки і ділянки масивної деталі під нею утворилася загальна зварювальна ванна. Це можна зробити, роблячи зварювання кромкою отвору в тонкій деталі або по периметру [16].

Лазерне зварювання відрізняється від багатьох інших видів зварювання тим, що дозволяє досягти найменших зварних швів. Також його застосовують при виробництві мікроелектроніки, адже верстати лазерного зварювання здатні різати деталі з мінімальною похибкою, а також виконувати ідеальної форми отвори з діаметрами менше 0,5 мм. Тому, лазерна зварка та різання вважається «ювелірним», тобто ідеально точним та швидким [17].

Велике поширення лазерного зварювання стримується економічними міркуваннями. Ціна лазерів досить висока, а це вимагає ретельного вибору області застосування лазерного зварювання. Лазерна зварка застосовується там, де застосування традиційних методів не дає бажаних результатів чи технічно неможливе до здійснення.

До таких випадків можна віднести необхідність отримання прецизійної (високоточної) конструкції, форма і розміри якої не змінюються в результаті

зварювання. Лазерна зварка доцільна, коли вона дозволяє відчутно спростити технологію виготовлення зварних виробів, виконуючи зварювання завершальною операцією, без подальшого доопрацювання або механічної обробки.

Світловим джерелом лазерного зварювання є сфокусований лазерний (або твердотільний газовий) промінь. Він формується у лазер-генераторі, після чого фокусується за допомогою системи фокусування та потрапляє на зварюваний виріб, проникаючи в нього, нагріває і розплавляє матеріал виробу.

Розрізняють 3 види лазерної зварки:

- 1) мікро-зварювання (з'єднання елементів товщиною, глибиною проплавлення до 100 мкм);
- 2) міні-зварювання (глибина проплавлення 0,1 -1 мм);
- 3) макро-зварювання (глибина проплавлення більше 1 мм).

Мікро- та міні-зварювання лазером отримало поширення у виробництві мікроелектроніки. Застосування лазерного зварювання даних видів проявляється у виробництві елементів друкованих плат. Розрізання пластмасових виробів, при необхідності, також здійснюється даними видами зварювання.

Макро-зварювання лазером знаходить своє застосування практично у всіх галузях промисловості, так як існують верстати для макро-зварювання, що здатні працювати на величезних потужностях та плавити найбільш термостійкі метали та сплави на глибини в кілька сантиметрів, а інколи й десятки сантиметрів [17].

Джерелом теплової енергії для лазерного зварювання є потужний сконцентрований світловий промінь, який утворюють у спеціальних установках, які називаються лазерами. В основному тепер використовуються рубінові лазери зі штучним рубіном, до складу якого входить оксид алюмінію  $Al_2O_3$  і невеликі домішки оксиду хрому  $Cr_2O_3$ .

Схема лазерного зварювання зображена на рис. 1.13.

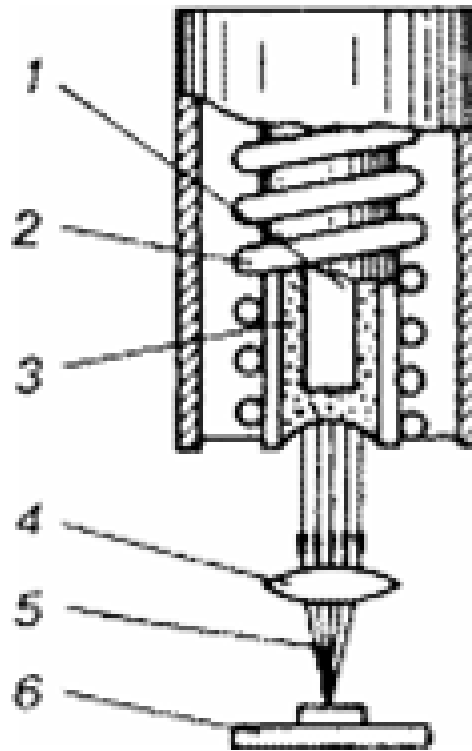


Рис. 1.13 Схема лазерного зварювання:

1. - Рубіновий стрижень; 2. - Ксенова лампа; 3. - Охолоджувальна система;  
4. - Лінза; 5. - Сфокусований потік; 6. - Виріб.

Коли спалахує ксенонова лампа, що живиться розрядним струмом конденсаторів, атоми хрому рубінового кристала переходять з нормального стану в збуджений стан. Але через кілька мілісекунд вони знову повертаються у попередній стан, випромінюючи фотони червоного світла. Їх потік уздовж осі стрижня спричиняє випромінювання нових фотонів, що поперемінно відбиваються від дзеркальних торцевих граней, збільшуючи цим самим інтенсивність загального випромінювання.

При накопиченні певного рівня фотонів вони у вигляді потоку червоного світла прориваються крізь напівпрозорий торець стрижня назовні.

Пройшовши через лінзу, сфокусований потік попадає на виріб. Тривалість імпульсу випромінювання лазерного променя дорівнює тисячним і мільйонним часткам секунди.

Окремими точками лазерного променя можна заварювати різні метали товщиною до 0,5 мм. Його використовують для виготовлення отворів у твердих сплавах, алмазах, рубінах, тугоплавких металах а також для термообробки різального інструменту.

#### 1.5.3.1 Лазерне зварювання як метод боротьби з дефектами виробів

Проблема браку виливків при литті за витоплюваними моделями досі не вирішена, адже якою б ідеальною не була технологія, завжди будуть присутні фактори, на які важко чи неможливо впливати. Стовідсоткового ВП при реальному виробництві досягти надзвичайно складно, адже неможливо щоразу ідеально проконтролювати всі параметри (відповідність металозавалки стандартам, якість формувальної маси, якість воску, людський фактор, випадковості, неправильна ливникова система і т.ін.), адже додаткові досліді при виробництві – недоцільна витрата коштів та робочого часу, що призводить до зниження продуктивності та прибутковості виробництва. Набагато легше відштовхуючись від існуючого бракованого виробу передивитися технологію та відлити його знову, наскільки показує практика. Але не всі браковані вироби підлягають переплаву. Існує декілька видів дефектів, які можна виправити безпосередньо на відлитій заготовці:

- 1) Пористість;
- 2) Недолив;
- 3) Неспай;
- 4) Корольок.

В залежності від складності та площі дефектів, їх можна усунути за допомогою пайки, що не буде критичною для поверхні щойно відлитої та ще необробленої заготовки, але критично при пробірному контролі: співвідношення дорогоцінного металу в сплаві припою менша, що впливе при пробірному контролі. Ще один мінус звичайної пайки – високий ризик нашкодити тонким деталям, що можуть просто «потекти» від полум'я пальника. Але це не єдиний спосіб відреставрувати бракований виріб.

Найбільш прогресивним методом боротьби з поверхневими дефектами на даний момент є лазерне зварювання. Головною особливістю даного методу є точковість дії лазерного променя, що дає змогу уникнути поширення тепла на весь виріб без небезпеки зруйнувати деталі. Ще одним значним плюсом є той факт, що зварювати можна той самий сплав, що і у виробі, а це вже дасть змогу вдало пройти пробірний контроль, а також колір наплавленого металу зовсім не відрізнятиметься від оригіналу, чого б не досягли при звичайній пайці. Тому лазерне зварювання широко застосовується в ювелірній справі, але не лише у боротьбі з дефектами при литті: вироби зношуються під час носіння, але далеко не всі можна відновити «ручними» методами. Наприклад, зменшення розміру кільця з великою кількістю вже вставлених каменів просто неможлива без лазерної зварки, адже кожна розкріпка/закріпка каменів додає ризик їх розкришування в процесі роботи, а при застосуванні звичайної пайки ті ж самі камені згорять.

Найпоширенішим дефектом виробів із сплавів дорогоцінних металів є пористість. Пористості можна позбутися, застосовуючи машину для лазерної зварки на прикладі iWeld 970 series (рис. 1.14) [18].



Рис 1.14 Машина для лазерної зварки iWeld 970 series

Машина має три режими потужності:

$$N_1 = 35 \text{ Вт};$$

$$N_2 = 60 \text{ Вт};$$

$$N_3 = 80 \text{ Вт [19]}.$$

В ювелірній справі найпоширеніші перші два режими, але зазвичай використовується перший ( $N_1 = 35 \text{ Вт}$ ), адже він забезпечує максимальну якість, хоч і більше потребує часу для роботи.

Найбільш неприємною особливістю пористості металу є той факт, що із заглибленням у метал пористість збільшується. Саме це і проявляється при заварюванні лазером пористих поверхонь: верхні пори розплавляються, але метал затікає у нижні пори. В результаті замість пористої поверхні отримуємо яму, в яку ще наварюємо метал, поки поверхня не стане гладкою. Та не завжди вдається виправити цей дефект. Часом стається, що пучок променів лазера проплавляє метал наскрізь. В даному випадку подальше використання зварки унеможливорює відновлення деталі, яка відправляється на переплав чи афінаж.

З корольками лазерна зварка справляється легко, адже навіть заварювання відбувається металом заготовки. Та, все ж, на місці королька зазвичай роблять «горбик», що потім шліфується та полірується, а місце, на якому колись був дефект, набуває товарного вигляду. Корольки – непоширений вид дефектів у ювелірній справі. Частіше відбувається недолив та неспай в результаті невірної технології виготовлення.

З неспаями боротися майже так само легко, як і з корольками, але металу треба додати більше та по більшому периметру й на більшу глибину, або крім товарного вигляду надати виробу міцності.

З недоливами боротися найважче, адже недолив – це неповна деталізація виробу, яку треба буде довести вручну після наварювання металу, що в більшості випадків веде до невідповідності з моделлю (залежно від вміння майстра), але якщо недолилась якась деталь простої геометричної форми – тут доводиться вручну легко. Якщо ж недолився барельєф, його одразу ж



віддають на переплав чи афінаж, адже відтворити потрібні деталі вручну в металі можна, але це займе дуже багато часу.

Ще одною сферою застосування лазерної зварки є реставрація виробів: заварювання подряпин чи зламів, видалення написів і т. ін.

Особливістю лазерного випромінювання при високій потужності та частоті є відчутний фізичний удар. Цю особливість використовують для вигинання заготовок та створення рельєфів з гладкими текстурами.

## **1.6 Висновки та постановка завдання досліджень**

З аналізу інформаційних джерел можна зробити наступні висновки:

1. Брак виливків при виробництві – важливе питання при модернізації та підвищенні продуктивності праці.
2. Лазерні технології можуть використовуватись для усунення дефектів, що веде до збільшення виходу придатного виробництва.

Постановка задачі дослідження:

1. Дослідити роботу лазерної зварки та маркувальника.
2. Скласти рекомендації щодо найбільш ефективних режимів роботи.

## 2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводяться моделюванням процесу зварювання лазерним маркуванням. Так як технологія одна, а різниця лише в режимах та потужностях зварювальника та маркувальника, їх можна досліджувати тотожно, зробивши якісний перехід від маркування до зварювання.

Є кілька параметрів, що можна контролювати, а саме:

$$N = 5 \dots 27 \text{ Вт};$$

$$V = 50 \dots 5000 \text{ мм/хв};$$

$$\nu = 30 \dots 60 \text{ Гц}.$$

Використовуючи стандартну швидкість  $V = 500 \text{ мм/хв}$ , ми будемо знаходити оптимальну потужність  $N$ , після чого, досліджуючи графіки, будемо знаходити нову оптимальну швидкість  $V$  при оптимальній  $N$ . Співставивши графіки, зробимо висновки щодо режимів та рекомендації щодо їх використання. Після досліджень можна зробити висновки щодо взаємодії лазерного променя з металами та зробити якісний перехід на лазерне зварювання, прогнозуючи роботу лазерної зварки з різними сплавами.

У роботі будуть використовуватись сплави: сплав срібла  $\text{CrM92,5}$  [27], сплав золота  $\text{ЗлCrM58,5-8}$  [28], листова прокатана нержавіюча сталь  $12\text{X18H9}$  [29], латунь  $\text{Л70}$  [30] та сплав титану  $\text{BT6}$  [31].

Попередньо проаналізувавши фізичні властивості металів, можна спрогнозувати, з якими сплавами лазерний маркувальник працюватиме найбільш ефективно. Якщо взяти сплав золота, як приклад, то можна сказати, що лазерний промінь працюватиме з ним дуже ефективно, тобто графіки залежностей режимів роботи з ним будуть лінійні. Це зумовлено його фізичними властивостями, а саме – високою твердістю та невисокою теплопровідністю, порівняно зі сплавом срібла.

Сплав титану з досліджуваних має найбільшу твердість, міцність, температуру плавлення та найнижчу теплопровідність. Можна припустити, що лазерний промінь буде взаємодіяти з ним довше, ніж з іншими сплавами.

Для дослідження взаємодії лазерного променя зі сплавами використовуються прокатні пластини товщиною від 0.8-2мм. Сталеві й титанові пластини під час досліджень не було можливості прокатувати, тому використовувалися готові листи. Пластини із сплавів золота, срібла та латуні виготовлялися на підприємстві. Для кожного сплаву застосовувалася одна схема виготовлення. Спершу проводилася плавка сплаву з подальшим відливанням товстої пластини, що підлягає прокатуванню. При плавці спершу розплавляють чисту основу сплаву (афіноване срібло/золото для благородних сплавів), а потім додають лігатуру, що має меншу температуру плавлення, ніж основа (для срібла [22] - MELT A15M; для золота [23] - MELT SUPER4). Це принципово, адже при дотриманні цієї умови менше згорає металу. Латунь купується в подрібненому вигляді, готовому для плавки [24]. Після відливання пластину поступово прокочують на прокатних валках до потрібної товщини. Між етапами прокочування пластину відпалюють, щоб ослабити внутрішні напруження, що можуть призвести до тріщин та поруватості пластини. Срібну пластину нагрівають до темно-рожевого кольору, після чого лишають охолоджуватись при кімнатній температурі, а золоту пластину нагрівають до блідно-червоного кольору, після чого гартують у розчині бури. При дотриманні цієї технології пластини стають податливими для подальшого прокочування. Таким чином прокочуються пластини до потрібної товщини, після чого плоскі поверхні полірують за допомогою полірувальних кругів із застосуванням пасти ГОІ. Після поліровки пластини стають придатними для досліджень.

Величини потужності та швидкості вводяться в програму, де задається квадрат з розмірами 10x10мм та лазер запускається в роботу. Щоб мати можливість виміряти товщину знімання за прохід, виставляється 20 або 40 повторів, після чого глибина вимірюється товщиноміром, а отримане значення розділяємо на кількість повторів, отримуючи глибину знімання за 1 прохід  $h$ . Таких дослідів робиться по 3 для кожного режиму роботи, щоб забезпечити максимальну точність вимірювань.

### 3. Експериментальна частина

#### 3.1 Дослідження взаємодії лазерного випромінювання з металами

За лазерного маркувальника SharpMark Fiber можливо наносити гравіювання на різні матеріали: метали, дерево, шкіра, скло, пластик. На практиці ж в більшості випадків гравіювання наноситься на метали, шкіру і деревину певних сортів, а пластик зазвичай згорає в процесі гравіювання. В даній роботі проводилися дослідження роботи лазера з металами та їх сплавами, а саме зі сплавом срібла  $\text{CrM92,5}$ , сплав золота  $\text{ЗлCrM58,5-8}$ , листово прокатана нержавіюча сталь  $12\text{X18H9}$ , латунь  $\text{Л70}$  та сплав титану  $\text{BT6}$ . Дослідження проводяться методом вимірювання глибини знімання металу лазером за один прохід по металу, змінюючи потужність випромінювання та швидкість проходження лазерного променя поверхнею металу з метою знаходження оптимальних параметрів для забезпечення максимальної продуктивності роботи лазера зі збереженням якості обробки. На кожен метал лазер діє по-різному, тому дослідження максимально продуктивного методу обробки проводилися окремо.

Параметри, що контролюються:

$$N = 5 \dots 27 \text{ Вт};$$

$$V = 50 \dots 5000 \text{ мм/хв.}$$

##### 1. Сплав срібла $\text{CrM92,5}$

Срібло має високу теплопровідність, що робить її вибагливим матеріалом у виборі параметрів обробки. Горить яскраво-зеленим молум'ям, що відповідає спектру міді, присутньому у пробі, а чисте срібло, в свою чергу, горить білим кольором. Таким чином, невеликий вміст міді в сплаві справляє помітний вплив на колір полум'я при його горінні.

Графік залежності глибини знімання металу  $h$ , мм від потужності випромінювання  $N$ , Вт за 1 прохід при стандартній швидкості  $V = 500$  мм/хв наведено на рис. 3.1.

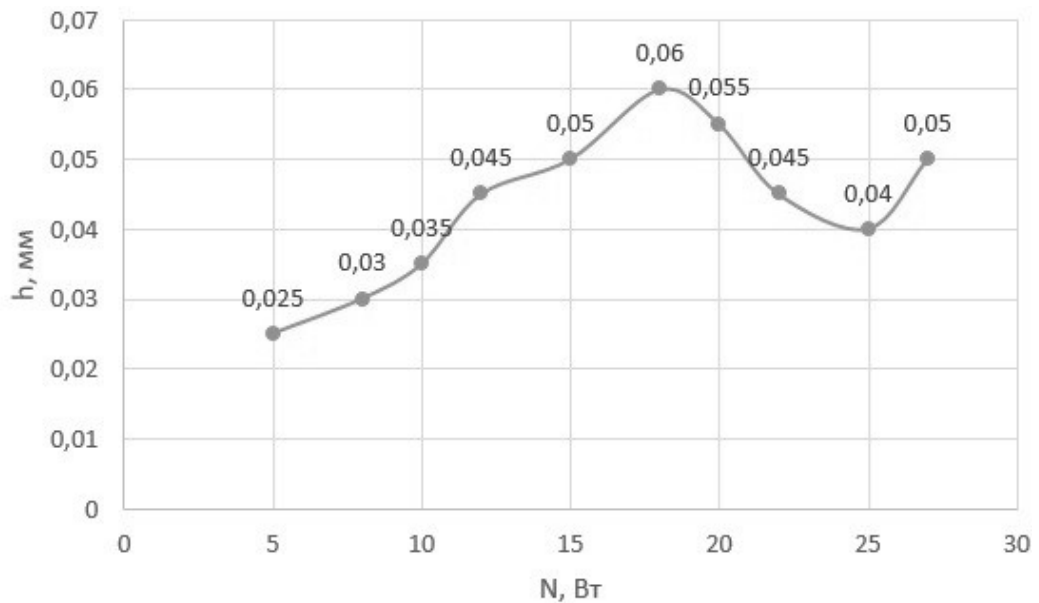


Рис. 3.1 Залежність глибини зйому металу від потужності випромінювання

Як можна побачити, залежність нелінійна. Це пояснюється тим, що при високих потужностях срібло починає наплавлятися. Найбільша ефективність досягається при потужності  $N=18$  Вт. Використаємо цю потужність для знаходження оптимальної швидкості проходження, графік залежності якого зображено на рис. 3.2.

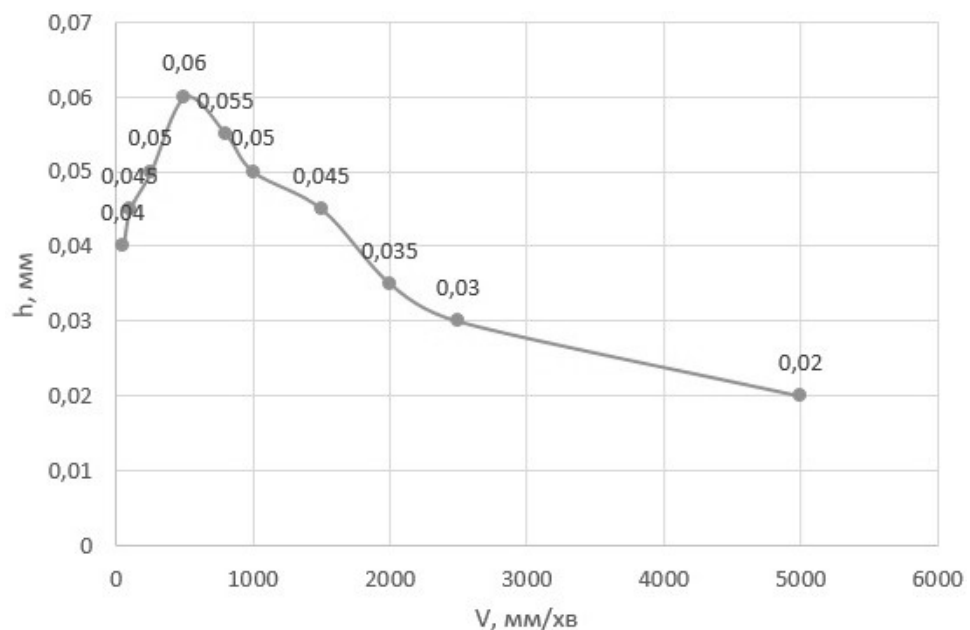


Рис. 3.2 Залежність глибини знімання від швидкості проходження

Як видно з графіку, швидкість  $V=500$  мм/хв і є оптимальною для срібла. При зменшенні швидкості метал починає наплавлятися, що призводить до

зменшення глибини знімання, а при збільшенні швидкості проходу спостерігається зворотній ефект – випромінювання недостатньо контактує з металом.

## 2. Сплав золота ЗлСрМ58,5-8.

Дослідження показали, що взаємодія сплаву золота з лазерним випромінюванням не залежить від його кольору, змінюється лише колір горіння: для червоного – яскраво – синій; для жовтого – яскраво – блакитний; для білого – яскраво – фіолетовий.

Нижче наведено графік залежності глибини знімання металу за 1 прохід від потужності випромінювання для золота при стандартній швидкості  $V=500$  мм/хв.

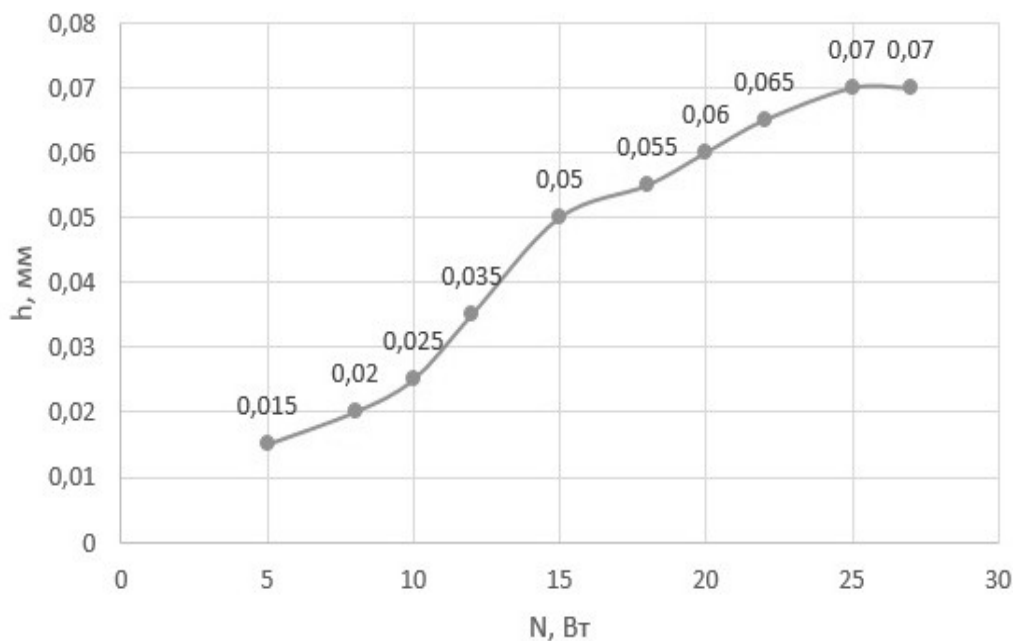


Рис. 3.3 Залежність глибини знімання від потужності випромінювання

З графіку визначили, що глибина знімання металу зі збільшенням потужності випромінювання зростає, але починаючи з потужності  $N=25$  Вт починає утворюватися жолоблення металу, тому оптимальною потужністю слід вважати  $N=22$  Вт, яку і приймаємо для наступного дослідження.

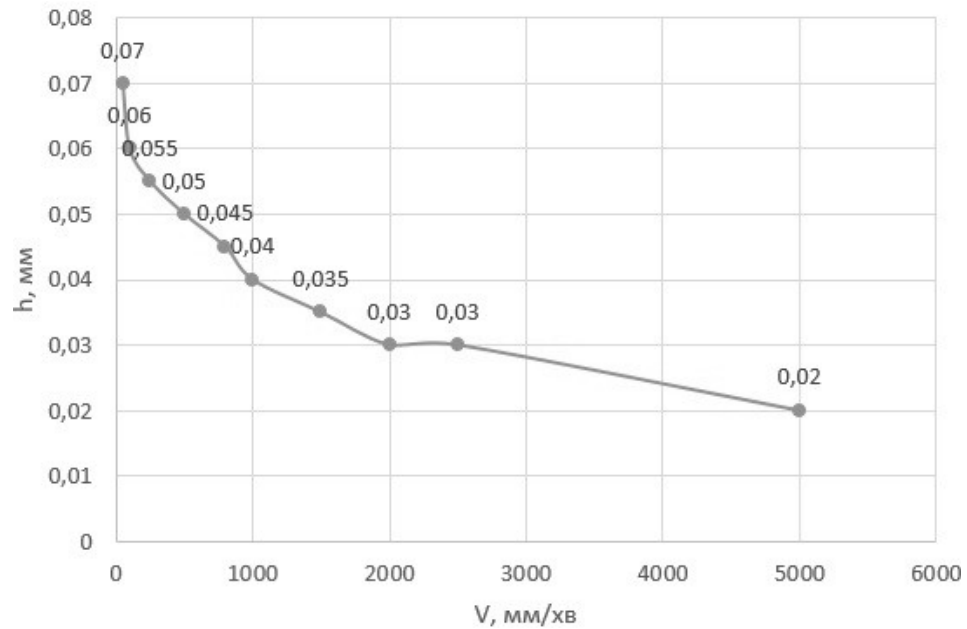


Рис. 3.4 Залежність глибини знімання від швидкості проходу

З графіку видно, що максимальна глибина знімання досягається при мінімальній швидкості, адже збільшується час контакту променя з металом, що призводить до жолоблення та втрати деталей, тому найефективнішою швидкістю приймаємо  $V=800$  мм/хв.

### 3. Сталь 12Х18Н9.

Характерною особливістю горіння сталі є яскраво-помаранчеві іскри та темно-синє світло. Дослідження проводяться аналогічно попереднім.

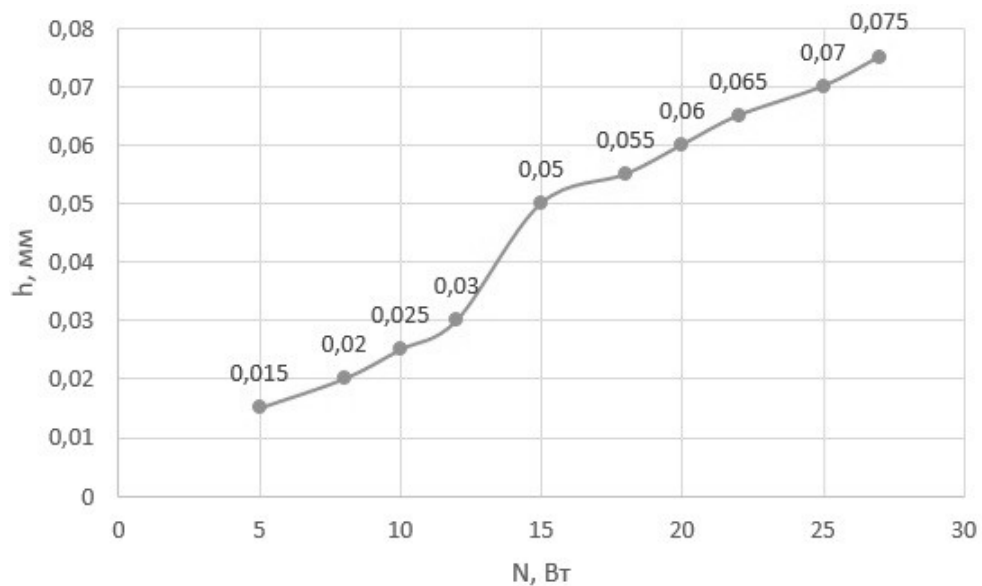


Рис. 3.5 Залежність глибини знімання від потужності випромінювання



Зйом сталі зі збільшенням потужності зростає, тому наступний дослід проводимо при максимальній потужності  $N=27$  Вт.

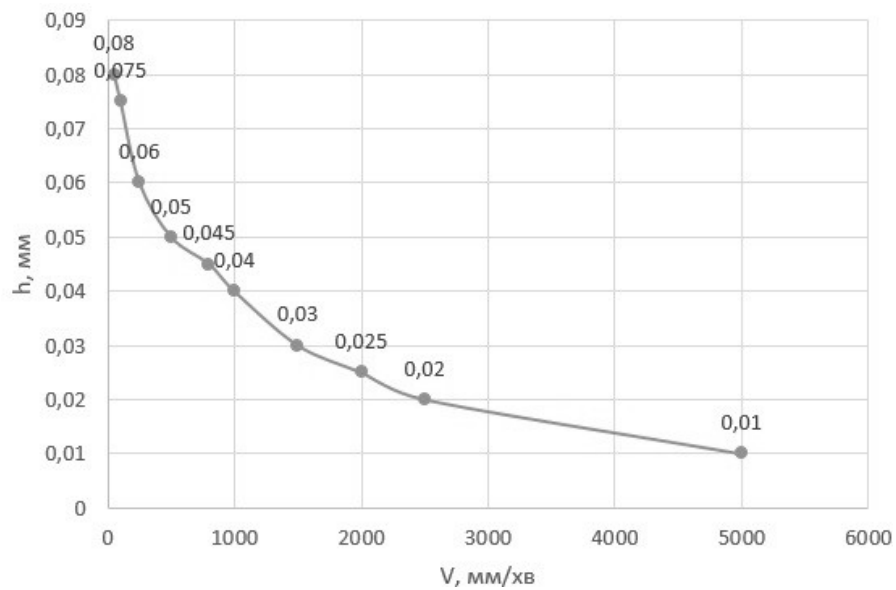


Рис. 3.6 Залежність глибини знімання від швидкості проходу

З графіку видно, що зі збільшенням часу контакту променя з металом збільшується і глибина знімання, тому робимо висновок, що для сталі підходять максимальні параметри.

#### 4. Сплав титану ВТ6.

Характерною особливістю титану є надзвичайно тривала обробка та велика кількість яскраво-жовтих іскор, схожих на бенгальські вогні. Дослідження проводяться аналогічно до попередніх.

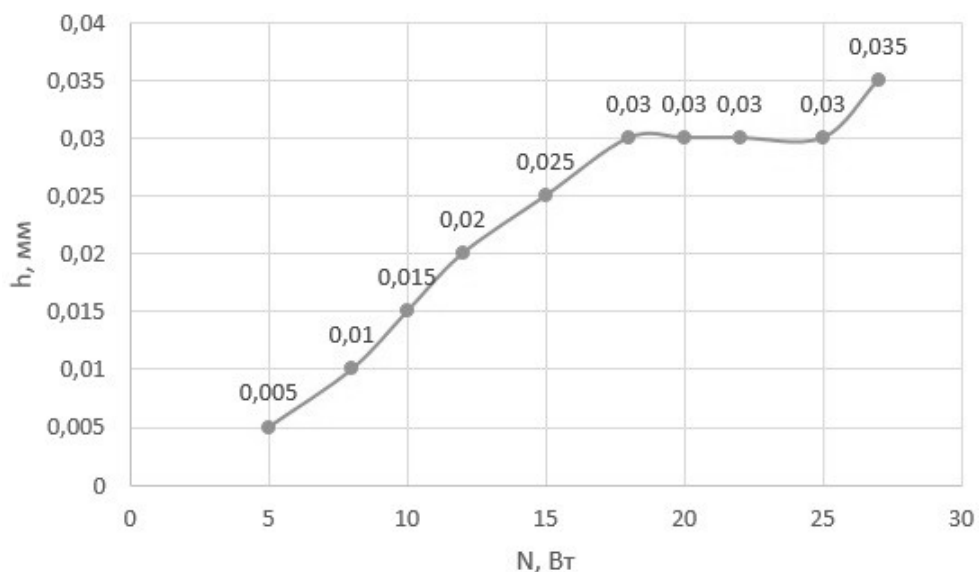


Рис. 3.7 Залежність глибини знімання від потужності випромінювання

Як видно із графіку, для титану справедливі висновки, що були зроблені для сталі – збільшення потужності веде до збільшення зйому. Приймаємо потужність  $N=27$  Вт для подальшого досліджу.

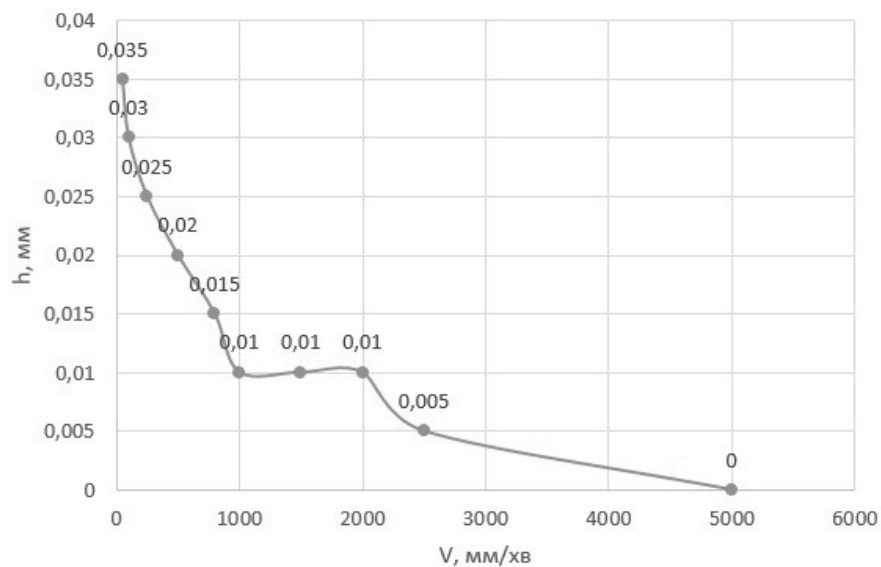


Рис. 3.8 Залежність глибини знімання від швидкості проходу

Для титану справедливі умови, як і для сталі – максимальна потужність і мінімальні швидкість.

#### 5. Латунь Л60.

З досліджень виявлено особливість латуні – властивості близькі до золота. Полум'я зафарбовується у світло-синій, близький до бірюзового колір, бо у сплаві багато міді та цинку. Дослідження проводяться аналогічно до попередніх.

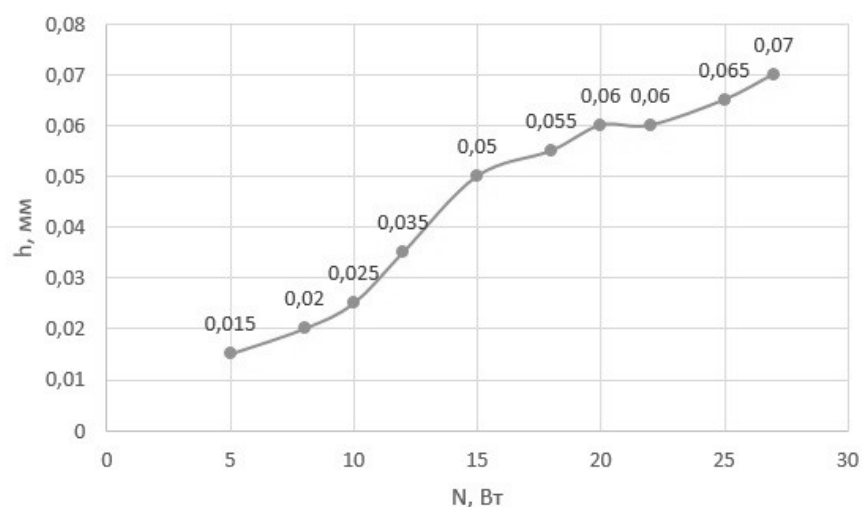


Рис. 3.9 Залежність глибини знімання від потужності випромінювання

Аналогічно, як у золота, при потужності  $N=25$  Вт починають втрачатися деталі та метал починає коробитися, а при нижчій досягається максимальний зйом металу зі збереженням деталей, тому приймаємо потужність  $N=22$  Вт за оптимальну.

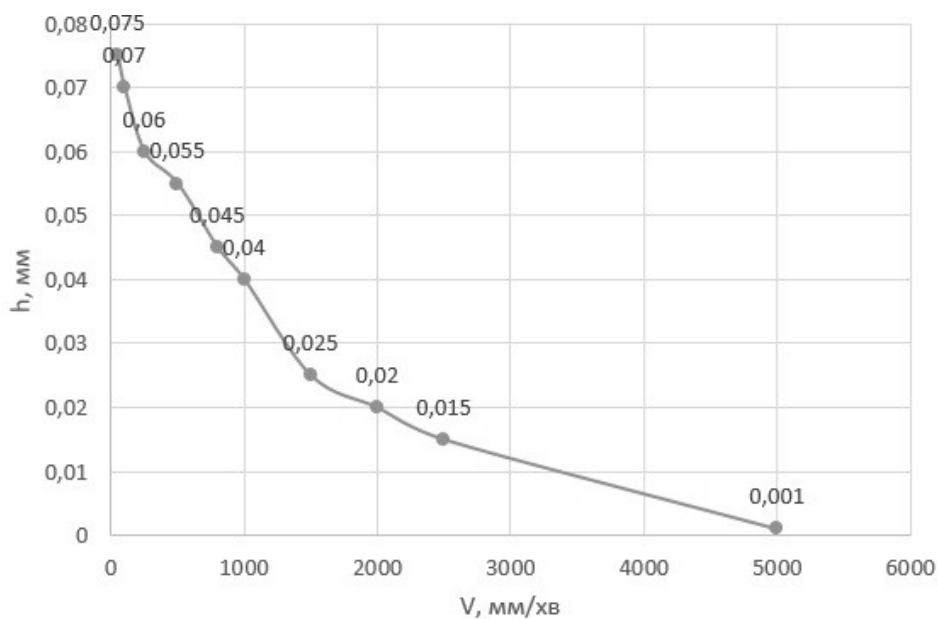


Рис. 3.10 Залежність глибини знімання від швидкості проходу

При стандартній швидкості  $V=500$  мм/хв досягається максимальний зйом металу при збереженні деталей та без короблення металу.

### 3.1.1 Рекомендації для лазерного зварювання

Якщо зробити якісний перехід на лазерне зварювання, відштовхуючись від даних досліджень, то можна сказати, що краще буде зварюватися сплав золота, бо він має більшу міцність та меншу теплопровідність, ніж у срібла, а отже, точковий промінь буде ефективніше зварювати дефект саме у сплавах золота.

Також дослідження показали, що зі збільшенням міцності сплаву його стійкість до лазерного випромінювання зростає, а зі збільшенням теплопровідності точка екстремуму досягається при меншій потужності, тому можна зробити висновок щодо найбільш ефективних режимів роботи з конкретним сплавом, знаючи його міцність і теплопровідність та порівнявши їх властивості з готовими результатами досліджень.



## 4 ОРГАНІЗАЦІЙНО – ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

Сьогодні ливарні технології досягли високого рівня якості, точності, швидкості та автоматизації, але повністю позбутися дефектів при литті не завжди вдається. Так чи інакше, у масовому виробництві завжди буде брак виливків навіть при дотриманні всіх технологічних режимів, адже існує ряд параметрів, що не піддаються повному контролю. Такими є відповідність металевої шихти стандартам, якість формувальної маси, якість воску, людський фактор, неправильна ливникова система, випадковості і т. ін. Також зазвичай підприємства просто не проводять повний контроль, адже додаткові досліді при виробництві – недоцільна витрата коштів та робочого часу, що призводить до зниження продуктивності та прибутковості виробництва. Набагато легше відштовхуючись від існуючого бракованого виробу передивитися технологію, зробити висновки та відлити його знову, наскільки показує практика. Але не всі браковані вироби підлягають переплаву. Існує декілька видів дефектів, які можна виправити безпосередньо на відлитій заготовці: пористість; недолив; неспай; корольок.

Найбільш прогресивним методом боротьби з поверхневими дефектами на даний момент є лазерне зварювання. Головною особливістю даного методу є точковість дії лазерного променя, що дає змогу уникнути поширення тепла на весь виріб без небезпеки зруйнувати деталі. Ще одним значним плюсом є той факт, що зварювати можна той самий сплав, що і у виробі, а це вже дасть змогу вдало пройти пробірний контроль. Також колір наплавленого металу зовсім не відрізнятиметься від оригіналу, чого не досягти при звичайній пайці. Тому лазерне зварювання широко застосовується в ювелірній справі, але не лише у боротьбі з дефектами при литті: вироби зношуються під час носіння, але далеко не всі можна відновити «ручними» методами.

Отже, актуальною задачею є дослідження режимів роботи лазера, які забезпечують максимально ефективне виправлення браку ювелірних виливків.

Метою роботи є розроблення найбільш ефективних режимів роботи лазерної зварки для доведення ефективності використання лазера на найвищий рівень. Процес лазерного зварювання моделюється на лазерному маркувальнику, після чого робиться якісний перехід на лазерне зварювання. Ця можливість забезпечується однаковою природою лазерного променя в обох випадках при різних доступних режимах. Мета досягається використанням досліджених режимів у роботі, їх постійним вдосконаленням та доповненням в процесі роботи, а також розробленням наукових теорій та їх дослідженнями на практиці.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовані наступні задачі:

1. Дослідити роботу лазерної зварки та маркувальника.
2. Скласти рекомендації щодо найбільш ефективних режимів роботи.

## **4.2 Розрахунок витрат на проведення дослідження**

### **4.2.1 Витрати на оплату праці**

Розрахунок витрат на оплату праці науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості окремих робіт по темі роботи та їхньої заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах магістерської дисертації) [25].

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткості різних етапів виконання магістерської дисертації встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому НДР розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів НДР наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Трудомісткість етапів магістерської дисертації

Найменування робіт по темі дослідження	Трудомісткість, людино-днів			
	доцент, кандидат технічних наук	асистент викладача, без наукового ступеню	інженер – дослідник (магістр)	технік 1 кате- горії
Уточнення та конкретизація завдань по темі дослідження	3	1	4	-
Аналіз науково-технічних публікацій з теми	4	2	6	-
Розробка методики проведення роботи	3	1	4	1
Підготовка заготовок для проведення досліджень	-	-	10	4
Дослідження зразків	3	-	25	-
Оброблення та обговорення результатів	6	1	20	-
Всього	19	5	69	5

Під час виконання магістерської дисертації було задіяно чотири виконавці: доцент, кандидат технічних наук; асистент викладача, без наукового ступеню; інженер-дослідник (магістр) та технік 1 категорії. Місячні посадові оклади заробітної плати співробітників кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» наведені в табл. 4.2.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2 дні. Величина денної заробітної плати виконавців роботи наведена в табл. 4.2.

Величина заробітної плати виконавців (ФЗП) обчислюється як сума добутоків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$\text{ФЗП} = 19 \cdot 568,5 + 5 \cdot 463,8 + 69 \cdot 0 + 5 \cdot 245,7 = 14348,7 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.2 – Розрахунок витрат на оплату праці

Посада виконавців теми	Планова трудомісткість, людино-днів	Заробітна плата, грн		
		Посадовий місячний оклад	Середньоденна зарплата	Усього за виконавцями
Доцент, кандидат технічних наук	19	12052	568,5	10801,3
асистент викладача, без наукового ступеню	5	9832	463,8	2318,9
інженер–дослідник (магістр)	69	0,00	0,00	0,00
технік 1 категорії	5	5209	245,7	1228,5
Разом оплата праці науково дослідної роботи				14348,7

#### 4.2.2 Єдиний соціальний внесок

Згідно з діючим законодавством України єдиний соціальний внесок складає 22,0% від заробітної платні. Разом оплата праці науково дослідної роботи беремо з табл.4.2. Підставивши значення одержуємо:

$$B_c = 0,22 \cdot 14348,7 = 3156,71 \text{ грн}$$

#### 4.2.3 Матеріали, необхідні для проведення досліджень

Для виготовлення експериментальних зразків були використані наступні сплави: сплав срібла CrM92,5, сплав золота ЗлCrM58,5-8, листово прокатана



нержавіюча сталь 12Х18Н9, латунь Л70 та сплав титану ВТ6. Дані про вартість перелічених матеріалів наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Вартість основних матеріалів

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
сплав срібла СрМ92,5	г	10	12,66	126,6
сплав золота ЗлСрМ58,5-8	г	3	634,84	1904,52
прокатана нержавіюча сталь 12Х18Н9	г	15	0,45	6,75
латунь Л70	г	25	0,2	5
сплав титану ВТ6	г	20	0,5	10
Всього				2052,87

#### 4.2.4 Витрати на спеціальне обладнання

В роботі використовували наступні прилади та обладнання: товщиномір; імпульсний лазерний маркувальник SharpMark Fiber.

Дане обладнання було придбано компанією, що надавала послуги з використання, тому утримання та експлуатацію обладнання відносяться до статті «накладні витрати».

#### 4.2.5 Вартість послуг сторонніх організацій

У виконанні даної магістерської дисертації брала участь ювелірна компанія «Скіфія-Альянс», працівником якої являється магістрант. Послуги з використання обладнання та витрати на матеріали брала на себе компанія.

#### 4.2.6 Витрати на службові відрядження

Усі роботи, пов'язані з виконанням магістерської дисертації за даною темою, проведені на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського. Окремі службові відрядження не планувались.

#### 4.2.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ( $C_{\text{інш}}$ ) плануються у розмірі 10% від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (ЗП + V_C + C_M), \quad (4.1)$$

де ФЗП – фонд заробітної плати;

$V_C$  – єдиний соціальний внесок;

$C_M$  – повна сума витрат на матеріали.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (14348,7 + 3156,71 + 2052,87) = 1955,83 \text{ грн}$$

#### 4.2.8 Накладні витрати

До накладних витрат (НВ) відносяться витрати на заробітну плату адміністративно-управлінського, господарчого та допоміжного персоналу (разом з єдиним соціальним внеском), витрати на допоміжні виробництва, видатки на охорону праці, техніку безпеки та екологію, фінансування підготовки кадрів, воєнізованої охорони і деякі інші.

Норматив відррахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ імені Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 16% планової суми прямих витрат по темі НДР.

Розраховуємо величину накладних витрат наступним чином:

$$H_B = 0,16 \cdot (ФЗП + V_C + C_M + C_{\text{інш}}), \quad (4.2)$$

де ФЗП – фонд заробітної плати;

$V_C$  – єдиний соціальний внесок;

$C_M$  – повна сума витрат на матеріали;

$C_{\text{інш}}$  – інші прямі невраховані витрати.

$$H_B = 0,16 \cdot (14348,7 + 3156,71 + 2052,87 + 1955,83) = 3442,26 \text{ грн.}$$

#### 4.2.9 Розроблення планової калькуляції кошторисної вартості теми

Планова кошторисна вартість магістерської дисертації визначається як сума витрат за окремими статтями вартості. Результати визначення вартості наведені у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Калькуляція планової кошторисної вартості магістерської дисертації за темою

Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
		грн.	%
Загальна заробітна плата	ФЗП	14348,7	57,49
Єдиний соціальний внесок	$V_C$	3156,71	12,65
Матеріали, необхідні для виконання НДР	$C_M$	2052,87	8,23
Спеціальне обладнання для наукових робіт	$C_{\text{Об}}$	-	-
Робота і послуги сторонніх організацій	$C_{\text{Стор}}$	-	-
Витрати на службові відрядження	$C_{\text{Від}}$	-	-
Інші прямі невраховані витрати	$C_{\text{інш}}$	1955,83	7,84
Накладні витрати	$H_B$	3442,26	13,79
Всього		24956,37	100

Згідно з табл. 4.4 загальна планова кошторисна вартість магістерської дисертації складає:  $V_{\text{НДР}} = 24956,37$  грн.

#### **4.3 Визначення очікуваних результатів магістерської дисертації та розрахунок показників економічної ефективності**

Кінцевим результатом магістерської дисертації є досягнення наукового, науково-технічного, економічного, соціального, екологічного ефектів. Дана магістерської дисертації являє собою частину комплексної теми, у зв'язку з цим розрахунок прямої ефективності її результатів не виконується. У цьому випадку можна застосувати оцінку умовної ефективності по окремих її характеристиках:

- важливість розробки (K1);
- можливість використання результатів розробки (K2);
- теоретичне значення та рівень новизни (K3);
- складність розробки (K4).

Шкала для оцінки важливості розробки K1:

1. Ініціативна робота, яка не є, а ні частиною комплексної програми, а ні завданням директивних органів – 1;
2. Робота, яка виконується за договором про науково-технічні допомоги – 3;
3. Робота представляє собою частину відомчої програми – 5;
4. Робота представляє собою частину відомчої комплексної програми – 7;
5. Робота виконується як частина міжнародної комплексної програми – 8;

Приймаємо показник важливості розробки  $K1 = 3$ .

Шкала для оцінки можливості використання результатів розробки K2:

1. Результати розробок можуть бути використані в даному підрозділі – 1;
2. Результати розробки можуть бути використані в даній організації – 3;
3. Результати розробки можуть бути використані в багатьох організаціях – 5;
4. Результати розробки можуть бути використані в масштабах галузі – 8;
5. Результати розробки можуть бути використані в багатьох різноманітних галузях – 10;

Приймаємо показник  $K2 = 5$ .

Шкала для оцінки теоретичної значимості і рівня нововведення К3:

1. Аналіз узагальнення і класифікація відомої інформації, подібні результати були відомі в досліджуваній області – 2;
2. Одержання нової інформації, що доповнить подання про суттєвість досліджуваних процесів, не відомої в дослідницькій області – 3;
3. Одержання нової інформації, яка частково міняє уявлення про суттєвість дослідження процесів, не відомих раніше – 5;
4. Створення нових теорій, методик і т. п. – 6;
5. Одержання інформації, яка служить формуванню нових напрямків – 8;

Приймаємо показник  $K3 = 2$ .

Шкала для оцінки показників складності дослідження К4:

1. Робота виконується одним підрозділом, витрати менше 20 тис.грн. – 1;
2. Робота виконується одним підрозділом, витрати 20...100 тис.грн. – 3;
3. Робота виконується одним підрозділом, витрати 100...200 тис.грн. – 5;
4. Робота виконується з урахуванням багатьох підрозділів, витрати від 200 тис.грн. до 1 млн.грн. – 7;
5. Робота виконується декількома організаціями, витрати понад 1млн.грн. – 9.

Приймаємо показник  $K4 = 3$ .

Загальна оцінка (Б) визначається як добуток коефіцієнтів :

$$B = K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot K4, \quad (4.3)$$

де  $K1$  – важливість розробки;

$K2$  – можливість використання результатів розробки;

$K3$  – теоретичне значення та рівень новизни;

$K4$  – складність розробки.

$$B = 3 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 3 = 90 \text{ грн.}$$

Умовний річний економічний ефект науково-дослідної роботи визначається :

$$\epsilon_{\text{НДР}} = 500 \cdot B - E_{\text{Н}} \cdot V_{\text{НДР}}, \quad (4.4)$$

де 500 – умовна вартість одного балу;

$E_{\text{Н}}$  – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ( $E_{\text{Н}} = 0,15 \div 0,5$ , для нашого розрахунку обираємо  $E_{\text{Н}} = 0,50$ );

$V_{\text{НДР}}$  – витрати на виконання НДР (планова річна кошторисна вартість виконання НДР, для нашого розрахунку  $V_{\text{НДР}} = 24956,37$  грн.).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (4.4) становить:

$$\epsilon_{\text{НДР}} = 500 \cdot 90 - 0,50 \cdot 24956,37 = 32521,82 \text{ грн.}$$

Економічна ефективність магістерської дисертації визначається коефіцієнтом ефективності  $E$ , який характеризує частку загального ефекту від розробки на умовну одиницю витрат:

$$E_{\text{НДР}} = \epsilon_{\text{НДР}} / V_{\text{НДР}}, \quad (4.5)$$

Підставивши значення у формулу (5.5) знайдемо коефіцієнт економічної ефективності

$$E = 32521,82 / 24956,37 = 1,3$$

Отже, судячи з розрахованого коефіцієнта, виконання даної магістерської дисертації є економічно обґрунтованим.

#### 4.4 Висновки

Проведено економічний аналіз доцільності даної магістерської дисертації роботи та виявлено, що дане дослідження є раціональним з економічної точки зору так як розширює потенціал роботи з лазерною зваркою, відкриваючи найбільш ефективні режими роботи.

## **5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ**

### **5.1 Назва проекту**

«Аналіз та методи виправлення браку ювелірних виливків»

### **5.2 Короткий опис проекту**

Застосування досліджених режимів роботи лазера виконує наступні задачі:

- підвищення ефективності роботи лазера;
- отримання якісніших швів при зварці;
- підвищення потенціалу розвитку виробництва;
- підвищення економічної ефективності роботи лазера..

### **5.3 Бізнес-модель**

#### **5.3.1 Цінний продукт**

Послуги, що можуть бути надані лазерами різних типів:

- лазерне гравіювання;
- лазерне різання;
- лазерне зварювання.

#### **5.3.2 Сегмент споживачів**

Підприємці ювелірної промисловості та широке коло людей

#### **5.3.3 Канали збуту**

Застосовуються прямі канали збуту, пов'язані з наданням послуг лазера на місці та достатньо швидко. Вони забезпечують доступ до кінцевого споживача, що дає такі вагомі переваги, як можливість збирання маркетингової інформації та

прямий вплив на споживачів, але потребує значних фінансових коштів. Прямі канали використовують переважно ті виробники, які намагаються контролювати свою маркетингову програму і працюють на обмежених цільових ринках. Зазвичай виробник зацікавлений надавати свої послуги безпосередньо споживачам за наявності власних регіональних складів.

Збутова діяльність промислового підприємства із застосуванням прямого маркетингу може провадитися через збутові оптові бази, склади й оптові контори самого виробника. Може здійснюватися збут через інтернет-ресурси (сайт заводу виробника).

#### 5.3.4 Взаємодія із споживачами

Формується база лояльних споживачів, створюють і послідовно підтримують на високому рівні їх досвід споживання продукту, зосереджуючись на областях, що дійсно мають найбільше значення для споживачів. Компанія не просто працює над підвищенням залучення до роботи працівників своєї компанії, але створює внутрішню культуру високих досягнень, яка дозволяє надавати щось більше, ніж стандартний набір виробів та технологій, що і стимулює подальше зростання бізнесу.

#### 5.3.5 Прибуток (монетизація)

Отримання прибутку від продажу готових виробів основної номенклатури та індивідуальних замовлень, а також від впровадження своєї технології для інших виробників. Нижче наведено порівняльний аналіз сильних та слабких сторін (табл. 5.1).



Таблиця 5.1 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фіктор конкурентоспроможності	Рейтинг позитивних та негативних сторін проекту						
		-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Ринок – сегмент обмежений		+					
2	Продукт – потрібний постійно							+
3	Ціна- нижче середньої серед аналогів						+	
4	Час прийняття рішення -довго	+						
5	Простота підтримки-потрібна тільки на початку						+	

### 5.3.6 Ключові види діяльності

1. Наукова діяльність – це інтелектуальна творча діяльність, спрямована на одержання та використання нових знань. Основними її формами є фундаментальні та прикладні наукові дослідження.

2. Надання послуг лазера – певний технологічний процес отримання заданого гравіювання/зварювання/вирізання залежно від побажань клієнта та можливостей лазера. Виготовлення штампів та 3D-гравіювання.

3. Маркетингова діяльність – являє собою творчу управлінську діяльність, завдання якої полягає в розвитку ринку товарів, послуг і робочої сили через оцінку потреб споживачів, а також проведення практичних заходів для задоволення цих потреб.

### 5.3.7 Ключові ресурси

Матеріальні – електроенергія й метали.

Науково-технічні співробітники. Охоронні документи (патенти). Технологія виробництва.

### 5.3.8 Ключові партнери

Підприємство, яке надає виробничу базу. Партнери з надання логістичних та маркетингових послуг. Постачальники сировини та енергоресурсів для виробництва.

### 5.3.9 Витрати

Витрати на оренду виробничих потужностей. Витрати на ресурсозабезпечення, логістику, маркетинг, підтримку блоку новин (нові матеріали, технології) на сайті виробника.

## 5.4 Споживачі властивостей товару

Послуги, що може надати лазер, вирішують проблеми споживача, пов'язані з:

- необхідність нанесення гравіювання на деталь (прикраса, значки);
- заварювання дефектів у металі;
- виготовлення штампів;
- виконання 3D-гравіювання;
- вирізання з високою швидкістю металевих пластин;

## 5.5 Дослідження ринку

Аналіз існуючого ринку аналогічної продукції показує:

- вартість 1 год роботи лазерного маркувальника складає 800 грн;
- основними критеріями, на які клієнти звертають увагу є: доброзичливість, якість роботи, вміння домовлятися й пояснювати.

## 5.6 Дослідження конкурентного оточення

Послуги аналогічного призначення надають підприємства як України так і закордону. Було проаналізовано послуги підприємств України, країн СНД та КНР, як найбільш вірогідних конкурентів. Переваги наших послуг за якістю та економічністю наразі дозволяють йому зайняти свою нішу на ринку аналогічних продуктів.

## **5.7 Маркетингова стратегія просування**

Маркетингова стратегія просування проекту складається з:

- проведення презентацій для потенційних покупців;
- участь в галузевих виставках і конференціях;
- просування проекту через сайти партнерів;
- зустрічі з виробниками литва;
- просування вироблених виливків на ринок України, з

подальшим виходом на ринок СНД.

Для продажу використовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через сайт підприємства-виготовлювача.

## **5.8 Елементи фінансового плану**

### **5.8.1 Опис бізнес-проекту**

Мета проекту – отримання прибутку через надання послуг лазерного маркувальника та лазерної зварки.

Актуальність проекту – існує проблема недостатньої кількості кваліфікованих послуг лазерного маркування на зварки, що спричинено відсутністю кваліфікованих працівників та необхідністю замовляти якісний лазер із США за високою ціною (15000\$)

### **5.8.2 Опис товару**

Номенклатура послуг складається з:

- лазерне гравіювання;
- лазерна зварка;
- лазерне різання;

### 5.8.3 Маркетинг і продаж

Маркетингова стратегія просування проекту складається з:

- проведення презентацій для потенційних покупців;
- участь в галузевих виставках і конференціях;
- просування проекту через сайти партнерів;
- зустрічі з виробниками литва;
- просування вироблених виливків на ринок України, з подальшим виходом на ринок СНД.

Для продажу використовуються прямі канали збуту:

- безпосередній контакт з потенційними покупцями;
- збут через сайт підприємства-виготовлювача.

### 5.8.4 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план в повному обсязі не прораховувався. У той же час, розраховано, що заплановані інвестиції для впровадження у виробництво технології та надання послуг лазерного зрівнювання складають:

– загальна заробітна плата	24000,82 □
– єдиний соціальний внесок	5280 □
– матеріали, необхідні для виконання	500000 □
– витрати на логістику, маркетинг, накладні витрати	70000 □

### 5.8.5 Резюме

Проект призначається для вирішення проблеми недостатньої кількості підприємств, що надають якісні послуги лазера.

Заплановані інвестиції для впровадження технології у виробництво на одному підприємстві становлять 536280 □.

На рис. 5.1 наведено бізнес-план підприємства.



Рис. 5.1 Бізнес-план підприємства

## **ВИСНОВКИ**

1. Досліджено роботу лазера зі сплавами срібла  $\text{CrM92,5}$ , золота  $\text{ЗлCrM58,5-8}$ , листової прокатої неріжавкої сталі  $12\text{X18H9}$ , латуні  $\text{Л70}$  та сплаву титану  $\text{BT6}$ .
2. Визначено оптимальні режими роботи лазера з різними сплавами.
3. Рекомендовані режими роботи зі сплавами з урахуванням їх властивостей.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ:

1. Технология литейного производства: Специальные виды литья: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / Э. Ч. Гини [и др.]; под ред. В. А. Рыбкина. – М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – 352 с.
2. Моделирование из воска для ювелиров и скульпторов / Лоуренс Калленберг; Пер. с англ. – Омск: Издательский дом «Дедал-Пресс», 2004. – 256 с., с ил.
3. Литейные формовочные материалы. Формовочные, стержневые смеси и покрытия: Справочник. / Болдин А.Н., Давыдов Н.И., Жуковский и др. – М.: Машиностроение, 2006. – 507 с.
4. Вплив поверхнево-активних речовин на властивості гіпсокремнеземистих формувальних сумішей для лиття точних виливків / Кочешков А.С., Зубер О.Ю., Шульга Г.С., Іванкович Є.В. – Краматорськ: ДГМА, 2009 – С.128-132
5. Дудаль Е.Н. Разработка и освоение динасо-гипсовых смесей ДГА при точном микролитье ювелирных изделий из сплавов золота и серебра – Л.– 1974. – Вып. 5. – С. 84 – 94.
6. Халилов И. Х. Ювелирное литье / И. Х. Халилов, М. И. Халилов – Махачкала. – 2000. – 104 с.
7. Валерио Фачченда. Литье по выплавляемым моделям. Справочник / В. Фачченда; пер. с англ. – Омск : Издательский Дом «Дедал-Пресс». – 2005.
8. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества (Технология и свойства) / Волженский А.В., Буров Ю.С., Колокольников В.С. – Москва: Стройиздат, 1973. – 479 с.
9. Поліщук-Герасимчук Т.О. Ефективні сухі будівельні суміші на основі модифікованих гіпсових і фосфогіпсових в'язучих. – Львів, 2009. – 48с.
10. Гіпсокремнеземисті суміші з комплексним вогнетривким наповнювачем для лиття за моделями, що витоплюються / Кочешков А.С., Кириленко Г.Ю. / Метал і литво України, – №10 – 2015, – С.30-35.

11. Бурьянов А. Ф. Гипс, его исследование и применение – от И.И. Будникова до наших дней / А. Ф. Бурьянов // Строительные материалы. – 2005.– № 9. – С. 40-4.
12. Литье по выплавляемым моделям/В. Н. Иванов, С. А. Казеннов, Б. С. Курчман и др.; под общ. ред. Я. И. Шкленника, В. А. Озерова. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 408 с., ил.
13. Промышленное применение лазеров. Под ред.. Кебнер Г., – М.: Машиностроение, 1988. – 280с.
14. Звелто О. Принципы лазеров / Пер. под науч. ред. Т. А. Шмаонова. 4-е изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 720с.: ил. – (Учебные пособия для вузов. Специальная литература)
15. Довідник по лазерах, пров. з англ. А.М.Прохорова. Том 1, М.-1978.
16. <http://svarium.ru/235>
17. <http://mastery-of-building.org/uk/princip-dejstviya-lazernoj-svarki/>
18. <http://www.directindustry.com.ru/prod/laserstar-technologies-corporation/product-53219-1195443.html>
19. <https://sharplase.ru/oborudovanie-dlya-lazernoj-gravirovki/volokonnye-lazernye-gravery/sharpmark-fiber/>
20. <https://sharplase.ru/dopolnitelnye-optsii/rotoorne-ustroystva/>
21. <https://sharplase.ru/dopolnitelnye-optsii/ochki-i-kontrollery-dlya-lazero/>
22. [https://polystar.com.ua/catalog/ligatura\\_melt\\_a15m\\_dlya\\_serebra.html](https://polystar.com.ua/catalog/ligatura_melt_a15m_dlya_serebra.html)
23. [https://polystar.com.ua/catalog/ligatura\\_melt\\_super4\\_dlya\\_litya\\_krasnogo\\_zolota.html](https://polystar.com.ua/catalog/ligatura_melt_super4_dlya_litya_krasnogo_zolota.html)
24. <https://vtk.prom.ua/p515938954-latun-dlya-litya.html>
25. <http://kpi.ua/files/2018-staff.pdf>

Державні стандарти:

27. ГОСТ 6836-2004 - Срібло та сплави на його основі
28. ГОСТ 6835-2002 - Золото і сплави на його основі



29. ГОСТ 5949-75 - Сталь сортова і калібрована корозійностійка, жаростійка і жароміцна. Технічні умови
30. ГОСТ 15527-70 - Сплави мідно-цинкові (латуні)
31. ГОСТ 19807-91 - Титан и сплавы титановые деформируемые

## ДОДАТКИ

## АНАЛІЗ БРАКУ ВИЛИВКІВ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ

E-mail: dmytrobulyha@gmail.com

Анотація: Проблема браку ювелірних виливків присутня завжди, особливо в масовому виробництві. Лазерне зварювання показує себе рентабельним інструментом для виправлення браку ювелірних виробів, про що й ведеться мова в даній статті. Процес зварювання моделюється лазерним маркувальником. Досліджуються особливості взаємодії лазерного променя з різними сплавами та вибираються найбільш ефективні режими роботи.

Ключові слова: дефекти, виливки, лазер, зварка, сплави, потужність, виробництво, промінь.

Summary: The problem of the lack of jewelry castings is always present, especially in mass production. Laser welding shows itself as a cost-effective tool for correcting the shortage of jewelry, as is the case with this article. The welding process is modeled by a laser marker. The degree of interaction of a laser with different alloys is studied and the most effective modes of work are selected.

Key words: defects, casting, laser, welding, alloys, power, production, beam.

Сьогодні найчастіше виготовлення виливків із сплавів кольорових металів проходить за допомогою спеціальних методів лиття. Великий відсоток складає процес лиття за моделями, що витоплюються (ЛВМ). Через використання значної кількості операцій у такому виробництві та номенклатури виробів, цей спосіб отримання виливків є складним. Не дивлячись на успіхи вітчизняних та зарубіжних фахівців, які вирішили ряд теоретичних та практичних питань з проблеми лиття, деякі питання так і залишаються не вирішеними, і не розвиваються в повній мірі [1].

Ювелірні технології досягли високого рівня якості, точності та мінімізації браку при дотриманні технологій порівняно з ручними методами, але повністю уникнути браку не завжди вдається. Стовідсоткового виходу придатного (ВП)

при реальному виробництві досягти надзвичайно складно, адже неможливо щоразу точно проконтролювати всі параметри (відповідність металевої шихти стандартам, якість формувальної маси, якість воску, людський фактор, неправильна ливникова система, випадковості і т. ін.), адже додаткові досліді при виробництві – недоцільна витрата коштів та робочого часу, що призводить до зниження продуктивності та прибутковості виробництва. Набагато легше відштовхуючись від існуючого бракованого виробу передивитися технологію, зробити висновки та відлити його знову, наскільки показує практика. Але не всі браковані вироби підлягають переплаву. Існує декілька видів дефектів, які можна виправити безпосередньо на відлитій заготовці: пористість; недолив; неспай; корольок.

Найбільш прогресивним методом боротьби з поверхневими дефектами на даний момент є лазерне зварювання. Головною особливістю даного методу є точковість дії лазерного променя, що дає змогу уникнути поширення тепла на весь виріб без небезпеки зруйнувати деталі. Ще одним значним плюсом є той факт, що зварювати можна той самий сплав, що і у виробі, а це вже дасть змогу вдало пройти пробірний контроль. Також колір наплавленого металу зовсім не відрізнятиметься від оригіналу, чого не досягти при звичайній пайці. Тому лазерне зварювання широко застосовується в ювелірній справі, але не лише у боротьбі з дефектами при литті: вироби зношуються під час носіння, але далеко не всі можна відновити «ручними» методами [3].

Для дослідження взаємодії лазерного променя з металами ми використовували імпульсний лазерний маркувальник SharpMark Fiber. Технологічні режими роботи лазерних маркувальників та лазерних зварювальників відрізняються потужністю та розміром плями променя. З результатів досліджень ми зробили висновки щодо найкращих режимів роботи з окремими сплавами. В роботі використовувалися сплави кольорових металів (титану, міді), сталь та сплави благородних металів (срібла, золота). Всі сплави піддаються обробці лазером по-різному залежно від їх фізичних властивостей, а

саме: теплопровідність, теплоакумуюча здатність, електропровідність, міцність та температура плавлення.

Дослідження виконувались методом підбору найбільш ефективних режимів роботи лазерного маркувальника, з якими досягалася максимальна глибина зйому металу при максимальній швидкості, а саме - потужності випромінювання  $N$  та швидкості проходження променю  $V$ . Параметри змінювалися у межах

$N = 5 \dots 27$  Вт;  $V = 50 \dots 5000$  мм/хв. Спершу визначали найбільш підходящу потужність випромінювання  $N$  при стандартній швидкості  $V = 500$  мм/хв, а потім визначали найбільш допустиму швидкість при знайденій потужності. При дослідженнях використовувалися сплави срібла СрМ 92,5 (ГОСТ 6836-2004), сплав золота ЗлСрМ 58,5-8 (ГОСТ 6835-2002), листова прокатана нержавіюча сталь 12Х18Н9 (ГОСТ 5949-75), латунь Л70 (ГОСТ 15527-70) та сплав титану ВТ6 (ГОСТ 19807-91). Найвпливовішими параметрами сплавів при роботі з лазером є міцність та температура плавлення. Особливістю металів є зафарбовування полум'я у різні кольори залежно від лігатур, які є у сплаві

Сплави срібла мають високу теплопровідність, що робить її вибагливим матеріалом у виборі параметрів обробки. Горить яскраво-зеленим полум'ям, що відповідає спектру міді, присутній у пробі, а чисте срібло, в свою чергу, горить білим кольором. Таким чином, невеликий вміст міді в сплаві справляє помітний вплив на колір полум'я при його горінні. Нижче наведено графіки залежностей для сплаву срібла СрМ 92,5 (рис. 1, 2).

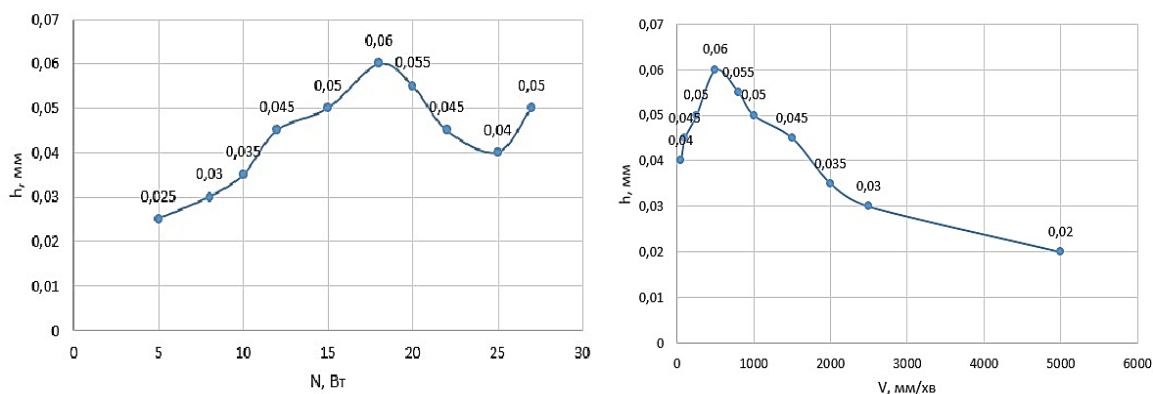


Рис.1 - Режими роботи лазера для сплаву срібла СрМ 92,5

Як можна побачити, залежності нелінійні. Це пояснюється тим, що при високій потужності срібло починає наплавлятися. Найбільша ефективність досягається при потужності  $N=18$  Вт. Використаємо цю потужність для знаходження оптимальної швидкості проходження. Як видно з графіку, швидкість  $V = 500$  мм/хв і є оптимальною для срібла. При зменшенні швидкості метал починає наплавлятися, що призводить до зменшення глибини знімання, а при збільшенні швидкості проходження спостерігається зворотній ефект – фокус променя недостатньо контактує з металом.

Взаємодія сплавів золота з лазерним випромінюванням не залежить від його кольору, змінюється лише колір горіння: для червоного – яскраво – синій (що говорить про високий вміст міді); для жовтого – яскраво – блакитний (знову ж таки, це пов'язано зі вмістом міді, а яскравість додається сріблом); для білого – яскраво – фіолетовий (що говорить про включення іридію). Нижче наведено графіки залежностей для сплаву золота ЗлСрМ 58,5-8(рис. 3, 4).

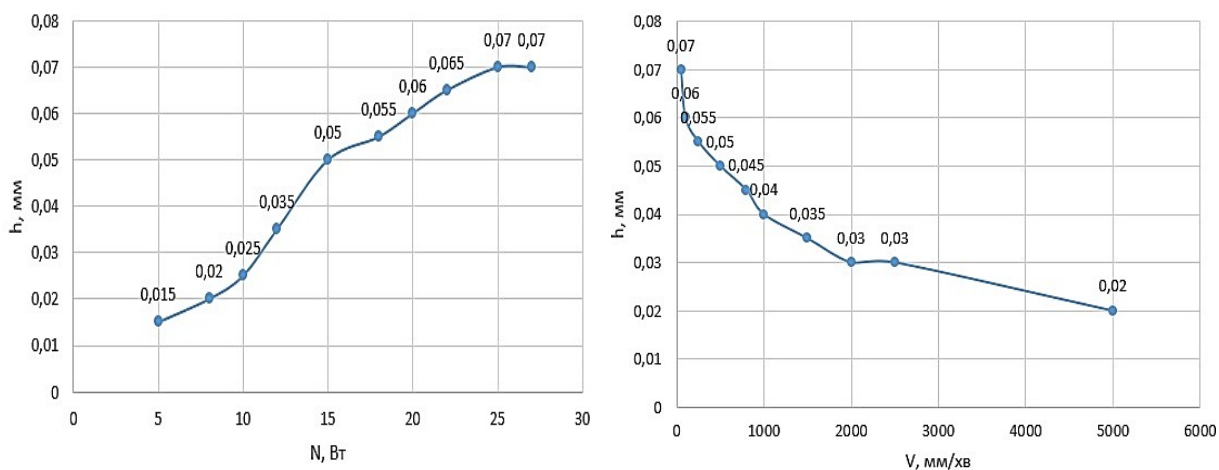


Рис.2 - Режими роботи лазера для сплаву золота ЗлСрМ 58,5-8

З графіків визначили, що глибина знімання металу зі збільшенням потужності випромінювання зростає, але починаючи з потужності  $N=25$  Вт починає утворюватися жолоблення металу, тому оптимальною потужністю слід вважати  $N = 22$  Вт, а максимальна глибина знімання досягається при

мінімальній швидкості, адже збільшується час контакту променя з металом, що призводить до жолоблення та втрати деталей, тому оптимальною швидкістю є  $V = 800$  мм/хв.

Виходячи зі спостережень, можна сказати, що великої різниці у взаємодії сталі та сплавів золота з лазерним випромінюванням немає, але сталь, все ж, міцніша й при тих самих режимах, що найкращі для золота, сталь ще може витримати потужніший та триваліший контакт з променем, не починаючи наплавлятися. Характерною особливістю горіння сталі є яскраво-помаранчеві іскри та темно-синє світло. Дослідження проводяться аналогічно попереднім. Графіки залежностей для сталі 12Х18Н9 наведено нижче (рис. 3).

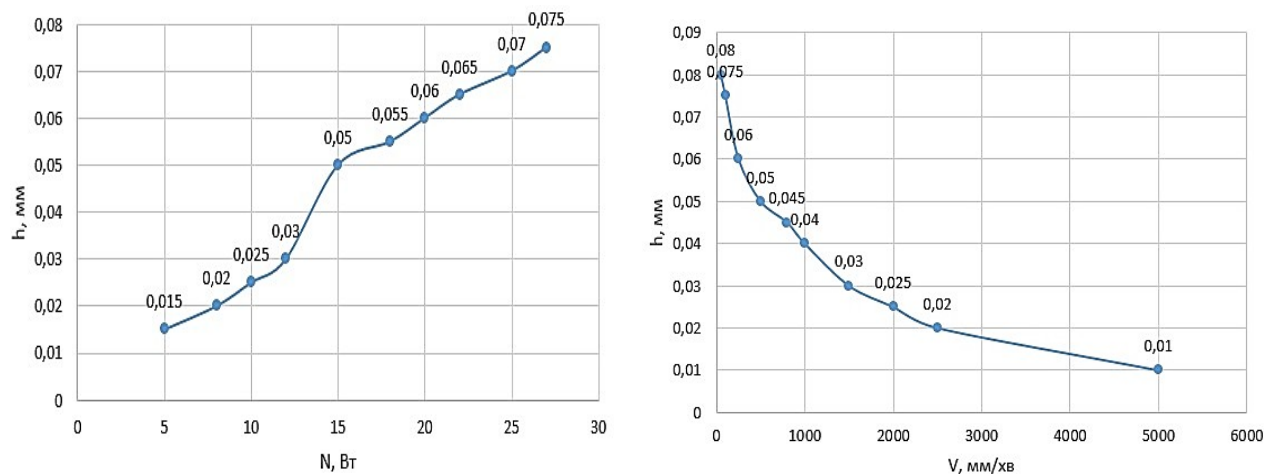


Рис.3 - Режими роботи лазера зі сталлю 12Х18Н9

Зйом сталі зі збільшенням потужності зростає, як і зі збільшенням часу контакту променя з металом, тому робимо висновок, що для сталі підходять максимальні параметри.

Титан обробляється найдовше, що пояснюється його високою міцністю та температурою плавлення. Характерною особливістю титану є надзвичайно тривала обробка та велика кількість яскраво-жовтих іскор, схожих на бенгальські вогні. Дослідження проводяться аналогічно до попередніх. Графіки залежностей для сплаву титану ВТ6 наведено нижче (рис. 4).

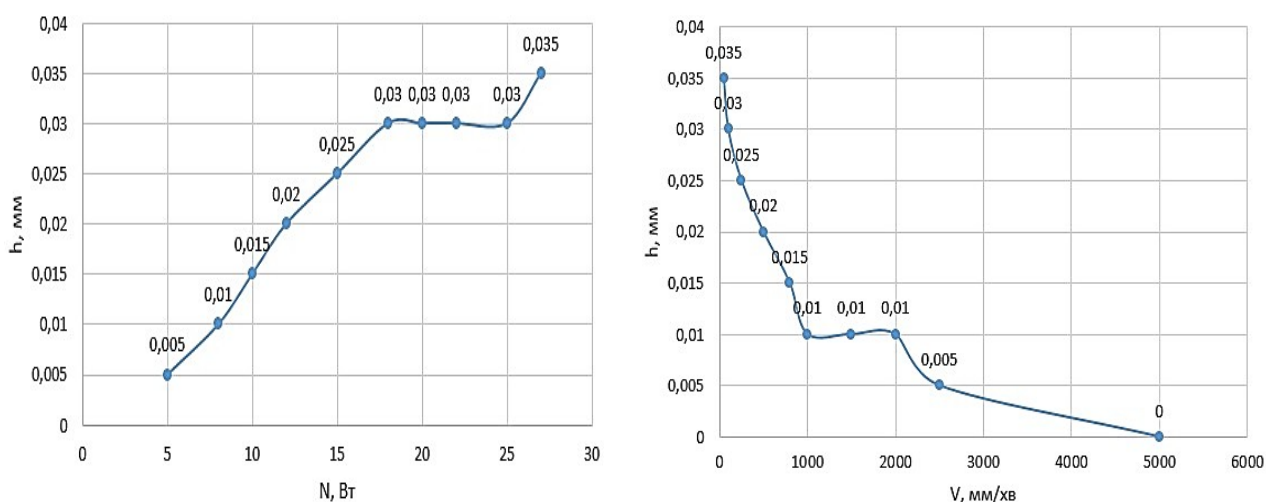


Рис.4 - Режими роботи лазера зі сплавом титану VT6

Як видно із графіків, для титану справедливі висновки, що були зроблені для сталі – збільшення потужності веде до збільшення зйому. Єдина різниця – зйом майже вдвічі менший при тих самих режимах.

З досліджень виявлено особливість латуні – властивості близькі до золота. Полум'я зафарбовується у світло-синій, близький до бірюзового колір, бо у сплаві багато міді та цинку. Дослідження проводяться аналогічно до попередніх. Графіки залежностей для латуні Л60 наведено нижче (рис. 5).

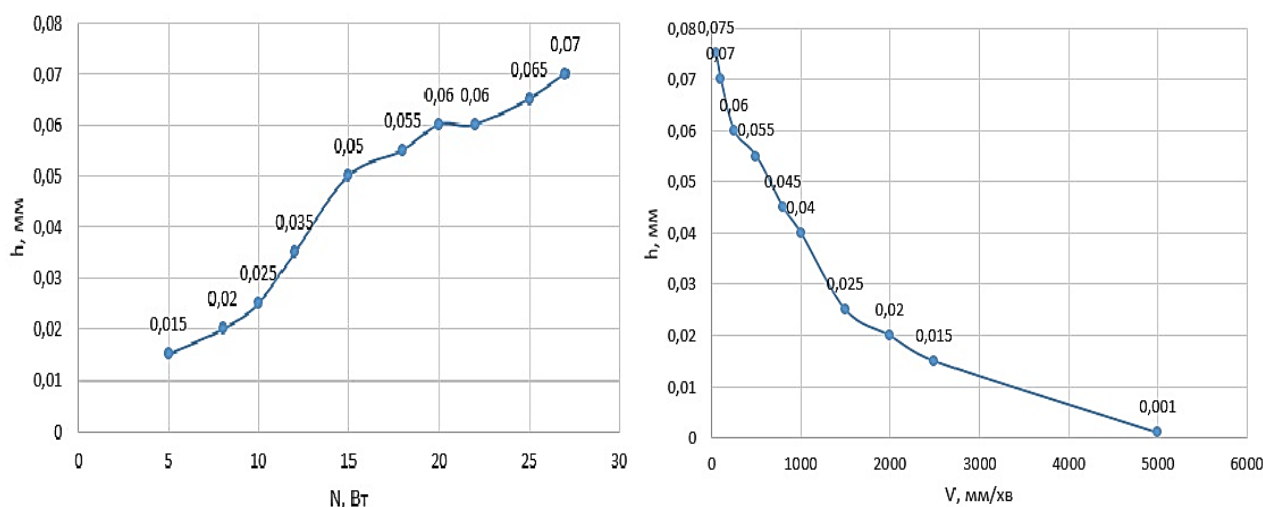


Рис.5 - Режими роботи лазера з латунню Л60



Аналогічно, як у золота, при потужності  $N=25$  Вт починають втрачатися деталі та метал починає жолобитися, а при нижчій досягається максимальний зйом металу зі збереженням деталей, тому приймаємо потужність  $N=22$  Вт за оптимальну. Також латунь знімається ефективніше при тих самих режимах, що й для золота. Це пояснюється тим, що у латуні менша теплопровідність, отже точковий імпульс лазера не розповсюджується на весь об'єм деталі, як би це було для сплавів золота.

Зробивши якісний перехід на лазерне зварювання, відштовхуючись від даних досліджень можна сказати, що краще буде зварюватися сплав золота, адже він має більшу міцність та меншу теплопровідність, ніж у срібла, а отже, точковий промінь ефективніше зварюватиме дефект саме у сплавах золота, а найкраще з досліджених – латуні. Чим менша температура плавлення, твердість та теплопровідність, тим швидше і якісніше заварюватимуться дефекти на ювелірному виливку.

Також дослідження показали, що зі збільшенням міцності сплаву його стійкість до лазерного випромінювання зростає, а зі збільшенням теплопровідності точка екстремуму досягається при меншій потужності, тому можна зробити висновок щодо найбільш ефективних режимів роботи з конкретним сплавом, знаючи його міцність і теплопровідність та порівнявши з готовими результатами.

#### *Література:*

1. Тошева О.Ю., Кочешков А.С., Самарай В.П. Питання якості виливків із сплавів кольорових металів за моделями, що витоплюються. - Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2014. – № 1 (32). – С.140-144.
2. Промышленное применение лазеров. Под ред.. Кебнер Г., – М.: Машиностроение, 1988. – 280с.
3. Халилов И. Х. Ювелирное литье / И. Х. Халилов, М. И. Халилов – Махачкала. – 2000. – 104 с.

**Булига Д.С.**

*(НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського», м. Київ)*

## **АНАЛІЗ БРАКУ ВИЛИВКІВ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ВИТОПЛЮЮТЬСЯ**

[dmytrobuluha@gmail.com](mailto:dmytrobuluha@gmail.com)

Сьогодні найчастіше виготовлення виливків із сплавів кольорових металів проходить за допомогою спеціальних методів лиття. Великий відсоток складає процес лиття за моделями, що витоплюються (ЛВМ). Через використання значної кількості операцій у такому виробництві та номенклатури виробів, цей спосіб отримання виливків є складним. Не дивлячись на успіхи вітчизняних та зарубіжних фахівців, які вирішили ряд теоретичних та практичних питань з проблеми лиття, деякі питання так і залишаються не вирішеними, і не розвиваються в повній мірі [1].

Ювелірні технології досягли високого рівня якості, точності та мінімізації браку при дотриманні технологій порівняно з ручними методами, але повністю уникнути браку не завжди вдається. Саме тому знаходяться методи виправлення рентабельних видів браку, а саме:

- пористість;
- недолив;
- неспай;
- корольок.

Ці види браку виливків легко виправляються з допомогою прогресивної технології лазерної зварки [2].

Для дослідження взаємодії лазерного променя з металами ми використовували імпульсний лазерний маркувальник SharpMark Fiber. Технологічні режими роботи лазерних маркувальників та лазерних зварювальників відрізняються потужністю та розміром плями променя. З результатів досліджень ми зробили висновки щодо найкращих режимів роботи з окремими сплавами. Нижче наведено графічні залежності обробки ювелірних сплавів (рис. 1, 2).

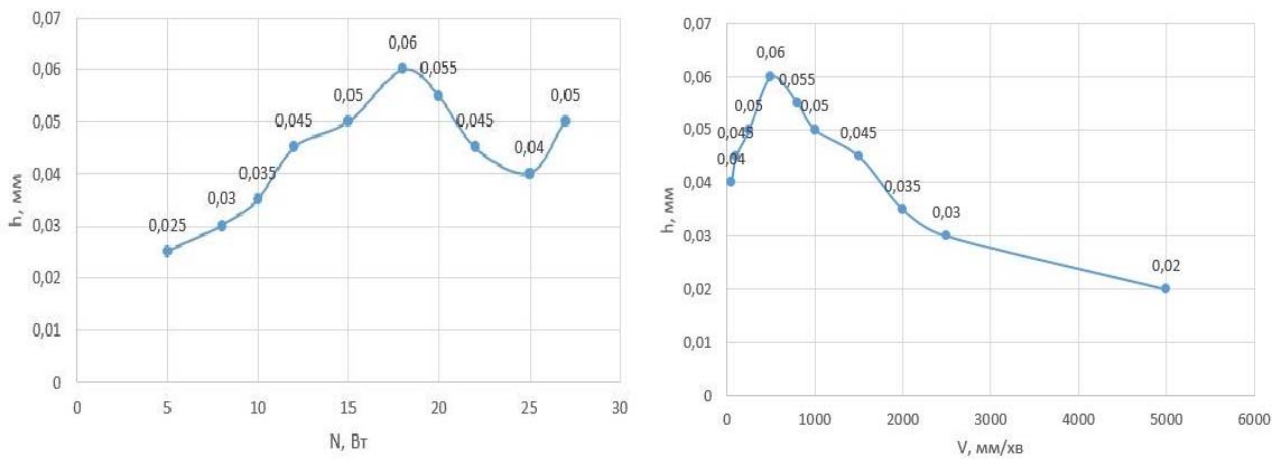


Рис.1 Режими роботи лазера зі сплавом срібла СрМ 925

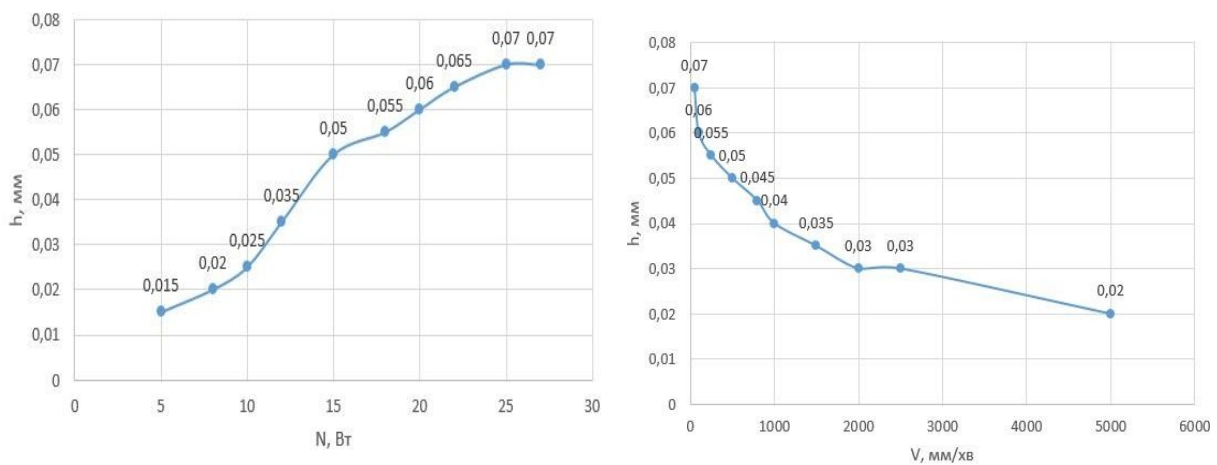


Рис.2 Режими роботи лазера зі сплавом золота ЗлСрМ 585-30

З даних досліджень визначено найкращі режими роботи лазера для сплавів золота та срібла:

- СрМ925:  $V=500$  мм/хв;  $N = 18$  Вт.
- ЗлСрМ585-30:  $V=800$  мм/хв;  $N = 22$  Вт.

Зробивши якісний перехід на лазерне зварювання, відштовхуючись від даних досліджень можна сказати, що краще буде зварюватися сплав золота, адже він має більшу міцність та меншу теплопровідність, ніж у срібла, а отже, точковий промінь ефективніше зварюватиме дефект саме у золота.

#### Література:

1. Тошева О.Ю., Кочешков А.С., Самарай В.П. Питання якості виливків із сплавів кольорових металів за моделями, що витоплюються. - Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: збірник наукових праць. – Краматорськ : ДДМА, 2014. – № 1 (32). – С.140-144.
2. Промышленное применение лазеров. Под ред.. Кебнер Г., – М.: Машиностроение, 1988. – 280с.